



TESIS - EE185401

# DESAIN KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID TENAGA SURYA, TENAGA ANGIN DAN BATERAI

ALFREDO GUSMAO  
07111550018001

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Ir. Soedibjo, M.MT  
Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2019





**TESIS - EE185401**

# **DESAIN KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID TENAGA SURYA, TENAGA ANGIN DAN BATERAI**

**ALFREDO GUSMAO**  
**07111550018001**

**DOSEN PEMBIMBING**  
**Dr. Ir. Soedibjo, M.MT**  
**Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.**

**PROGRAM MAGISTER**  
**BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA**  
**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO**  
**FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA**  
**2019**



## LEMBAR PENGESAHAN

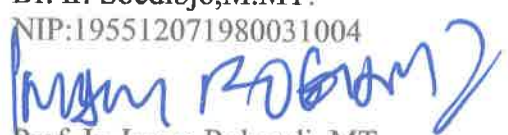
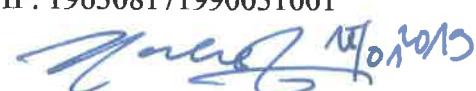


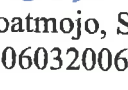
Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik (M.T)  
di  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Alfredo Gusmao  
NRP. 07111550018001

Tanggal Ujian : 20 Desember 2018  
Periode Wisuda : Maret 2019

Disetujui oleh:

1. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT. (Pembimbing I)  
NIP: 195512071980031004  

2. Prof. Ir. Imam Robandi, MT. (Pembimbing II)  
NIP: 196308171990031001  

3. Dr. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. (Penguji)  
NIP: 197007121998021001  

4. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. (Penguji)  
NIP: 197411292000121001  

5. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D (Penguji)  
NIP: 198006032006041003  




Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Ir. Arief Sardjono, S.T., M.T.  
NIP. 197002121995121001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **PERNYATAAN KEASLIAN TESIS**

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “**DESAIN KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID TENAGA SURYA, TENAGA ANGIN DAN BATERAI**” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Desember 2018

Alfredo Gusmao

NRP. 07111550018001

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## **DESAIN KONTROL PEMBANGKIT LISTRIK HIBRID TENAGA SURYA, TENAGA ANGIN DAN BATERAI**

Nama mahasiswa : Alfredo Gusmao  
NRP : 07111550018001  
Pembimbing : 1. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT  
2. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

### **ABSTRAK**

Pembangkit listrik tenaga angin dan matahari memiliki permasalahan ketersediaan sumber matahari dan angin yang tidak stabil. Salah satu solusi untuk menyelesaikan ketersediaan daya maka pada penelitian ini dimodelkan desain pembangkit hibrid matahari, angin dan yang dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpan energi pada saat daya berlebih dan ikut menyuplai energi yang tersimpan pada saat kekurangan daya. Ketersediaan besaran sizing peralatan pembangkit matahari, angin, maupun banyaknya baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan daya maka digunakan metode algoritma PSO. Algoritma PSO digunakan untuk menganalisa kebutuhan peralatan dan Last SOC Value 31% serta biaya yang paling minimum..

Berdasarkan analisa menggunakan metode algoritma PSO tersebut dibutuhkan peralatan pembangkit matahari sebanyak 16 PV unit dengan kapasitas daya masing-masing PV sebesar 250 Wp, dan peralatan pembangkit turbin angin sebanyak 5 WTGS unit masing-masing turbin angin dengan kapasitas 0,5 kW, sementara kebutuhan baterai sebanyak 22 unit dengan spesifikasi 100 Ah dengan tegangan 48 Vdc. Maka tahapan selanjutnya adalah membangun topologi (konfigurasi) sistem pembangkit hibrid. Dimana baterai dilengkapi peralatan kontroller untuk proses charging maupun discharging, dan masing-masing pembangkit juga dilengkapi peralatan kontroller pengendali tegangan, dimana setiap keluaran dari kontroller yang digunakan terhubung secara paralel pada bus DC. Sementara beban terhubung dengan ballast load, dan balast load terhubung secara paralel dengan pembangkit serta batrai pada bus DC.

Berdasarkan Simulasi pada PSIM memperlihatkan bahwa model system pembangkit hibrid hasil desain mampu menjaga kontinuitas daya listrik beban. Sementara biaya yang dibutuhkan untuk pembangkit tersebut berdasarkan algoritma PSO diperoleh dengan biaya minimum sebesar \$67857.

Kata kunci: Konfigurasi pembangkit hybrid, tenaga surya, turbin angin, baterai,  
*Algoritma PSO*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **DESIGN OF SOLAR-WIND ELECTRIC GENERATOR AND BATTERY HYBRID CONTROL SYSTEM**

By : Alfredo Gusmao  
Student Identity Number : 07111550018001  
Supervisor(s) : 1. Dr. Ir. Soedibjo, M.MT  
2. Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT.

## **ABSTRACT**

Wind and solar power plants have problems with the availability of solar sources and unstable winds. One solution to resolve the power availability is in this study, the design of solar, wind and hybrid power plants which are equipped with batteries as energy storage when excess power and also supply the stored energy when power shortages. The availability of the amount of sizing solar generator equipment, wind, and the amount of battery cells needed to meet power requirements. The PSO algorithm method is used in the study. The PSO algorithm is used to analyze equipment requirements and Last SOC Value and the minimum costs.

Based on the analysis using the PSO algorithm method, solar generating equipment is needed as many as 16 PV units with a power capacity of each PV of 250 Wp, and wind turbine generator equipment of 5 WTGS units of each wind turbine with a capacity of 0,5 kW, while the battery needs as 22 units with 100 Ah specifications with the voltage of 48 Vdc. Then the next step is to build a hybrid generator system topology (configuration), where batteries are equipped with controller equipment for charging and discharging processes, and each generator is also equipped with voltage controller equipment, where each output from the controller used is connected in parallel to the DC bus. The load is connected to ballast load which is connected in parallel with the generator and battery on the DC bus.

Based on the Simulation on the PSIM, the design model of the hybrid generator system is able to keep load requirements available. While the costs required for the plant based on the PSO algorithm are obtained with a minimum cost of \$ 67857.

Keyword: Hybrid system, solar power, wind turbine, battery, PSO algorithm

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat dan bimbinganNya, penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis ini dengan judul **“Desain Kontrol Pembangkit Listrik Hibrid Tenaga Surya, Tenaga Angin dan Baterai ”** dengan lancar dan baik.

Selama penulis tesis ini tentunya tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak baik bersifat material maupun spiritual. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Menteri Pendidikan Republik Demokratik Timor Leste (RDTL) yang telah memberikan beasiswa kepada penulis untuk melanjutkan studi Program Magister di Departemen Teknologi Sistem Tenaga FTE - ITS Surabaya.
2. Bapak Dr. Ir. Soedibjo M.MT selaku pembimbing I dan Bapak Prof. Dr. Ir. Imam Robandi, MT. selaku pembimbing II, yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan ilmu selama melakukan penulisan tesis.
3. Bapak Dr. Eng. Ardyono Priyadi, ST., M.Eng selaku kepala departemen teknologi elektro FTE - ITS Surabaya.
4. Ayahnda dan Ibunda tercinta atas dukungan moral, materil, dan doa sehingga dapat menyelesaikan studi.
5. Istriku tercinta Filomena Marcal Pires yang telah memberikan semangat dan doa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
6. Teman-temanku S2 semester genap ITS power 2016 : Pak Alfin, Ridwan, Khalil, Arief Budi Ksatria, Isahafidz, Wildan, Niken, Firilia, dan Trisnawati.

Penulis mengharapkan saran dan kritik demi lebih sempurnanya laporan tesis ini. Akhir kata, semoga tugas tesis ini bermanfaat bagi penulis maupun berbagai pihak yang membutuhkannya.

Surabaya, 20 Desember 2018  
Alfredo Gusmao

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Kontribusi .....	4
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait .....	5
2.2 Modul Photovoltaic (PV) .....	5
2.3 Turbin Angin .....	8
2.4 Particle swarm optimization (PSO) .....	9
2.5 Baterai .....	11
2.6 Pengendali PI .....	12
BAB 3 DESAIN OPTIMAL KAPASITAS .....	15
3.1 Pola Operasi Sistem dengan .....	15
3.2 Masalah Optimasi dan Batasan .....	16
3.3 Hasil Optimasi .....	20

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....	27
4.1    Konfigurasi Sistem .....	27
4.1.1    Konfigurasi Sistem PLTS .....	28
4.1.2    Konfigurasi Sistem PLTB .....	28
4.1.3    Konfigurasi Sistem Baterai.....	29
4.2    Hasil Respon Kontrol.....	30
4.2.1    Kondisi P_PLTS &P_PLTB (tetap) P_beban (berubah) .....	30
4.2.2    Kondisi P_PLTS & P_PLTB (berubah) P_beban (tetap) ...	34
4.2.3    Perubahan Beban .....	39
BAB 5 PENUTUP .....	41
5.2    Kesimpulan .....	41
5.2    Saran.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	43
RIWAYAT HIDUP .....	47
LAMPIRAN .....	49
NOMENKLATUR .....	50
DAFTAR INDEX.....	53



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Karakteristik Daya Keluaran Deretan PV [1] .....	6
Gambar 2.2 Karakteristik Daya Keluaran PV terhadap Variasi Cahaya Matahari [1] ....	6
Gambar 2.3 Model Ekvivalen Modul PV [4].....	7
Gambar 2.4 Korelasi Antara Koefisien Daya ( $C_p$ ) dengan TSR ( $\lambda$ ) [12] .....	9
Gambar 2.5 Diagram Blok Pengendali PI [26].....	13
Gambar 3.1 Variasi Kecepatan Angin 24 Jam Dalam Sehari .....	16
Gambar 3.2 Variasi Iradiasi Matahari 24 Jam Dalam Sehari.....	17
Gambar 3.3 Permintaan Beban 24 Jam Dalam Sehari .....	17
Gambar 3.4 Flowchart Algoritma PSO untuk Optimasi .....	18
Gambar 3.5 Flowchart Fungsi Objektif (Fcost) .....	19
Gambar 3.6 Inisialisasi Partikel Secara Acak Dalam Ruang 2 Dimensi .....	22
Gambar 3.7 Semua partikel mencapai nilai optimal .....	23
Gambar 3.8 Hasil Seleksi Pada 20 Kali Iterasi Sebagai Nilai Optimal: ... ..	24
Gambar 3.9 Inisialisasi Partikel Secara Acak Dalam Ruang 2 Dimensi .....	25
Gambar 3.10 Nilai Optimal Dari Area 2 Dimensi Pada Iterasi Terakhir.....	25
Gambar 3.11 Hasil Seleksi Pada 20 Kali Iterasi Sebagai Nilai Optimal .....	26
Gambar 4.1 Pembangkit System Hybrid PV, WTGS dan Baterai .....	27
Gambar 4.2 Konfigurasi Sistem PLTS .....	28
Gambar 4.3 Konfigurasi Sistem PLTB .....	29
Gambar 4.4 Konfigurasi Sistem Baterai .....	29
Gambar 4.5 Respon Aliran P dan V PLTS, PLTB, Pada Beban Berubah .....	31
Gambar 4.6 Respon Aliran P dan V PLTS, PLTB, Pada Beban Tetap .....	35
Gambar 4.7 Respon Aliran P dan V pada Perubahan Beban .....	39

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Parameter Insialisasi .....	20
Tabel 3.2 Hasil Optimal Sizing Pada 10 Kali Percobaan .....	21

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di era globalisasi saat ini, kebutuhan bahan bakar semakin meningkat namun sebaliknya cadangan minyak bumi, gas, dan batu bara sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik semakin berkurang. Bahan bakar fosil yang semakin langka dan peningkatan efek rumah kaca telah menjadi isu krusial yang harus ditangani secara global. Selain itu, masalah isu lingkungan serta penggunaan listrik yang meningkat membuat teknologi-teknologi pembangkit listrik konvensional beralih ke energi terbarukan (*renewable energy*), seperti tenaga surya dan tenaga angin. Hal ini memicu banyak hal seperti penelitian dan pengembangan besar-besaran terhadap sumber energi alternatif yang ramah lingkungan beserta pilot plan penyaluran energi yang efisien [1].

Pembangkit listrik tenaga matahari memanfaatkan sel surya (*solar cell*) untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik. Banyak penelitian telah dilakukan dalam rangka mengoptimalkan daya keluaran dari panel surya. Beberapa di antaranya adalah: optimalisasi menggunakan *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) pada modul panel surya untuk mendapatkan titik optimal hubungan antara P-V (*Power vs Voltage characteristic curve*) dan V-I (*Voltage vs Current characteristic curve*) [2]-[4]; optimasi dan analisis kinerja solar modul statis sebagai suplay daya listrik [3]-[6]; desain dan analisis *buck-boost converter* dari DC-DC *voltage converter* pada *solar panel module* [7],[8].

Pembangkit listrik tenaga angin adalah suatu pembangkit listrik yang menggunakan angin sebagai sumber energi untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit ini dapat mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Beberapa penelitian terdahulu juga telah dilakukan untuk mengoptimalkan pembangkitan listrik dengan energy angin ini. Di antaranya adalah: desain dan optimasi pembangkit energi listrik dengan suplai angin yang berubah-ubah [9]-[11]; desain dan analisis pembangkit listrik

tenaga angin dengan penyimpanan baterai dan beban kritis [12]; integrasi pembangkit tenaga angin dengan smart grid [13].

Seperti telah diketahui secara umum, bahwa ketersediaan tenaga matahari dan angin tidak selalu ada (konstan). Pada malam hari atau pada kasus matahari tertutup sesuatu (*shaded*) maka pembangkit tenaga matahari menjadi tidak optimal [14]. Demikian pula pada pembangkit tenaga angin seringkali terjadi angin yang tidak ada atau tidak cukup untuk menggerakkan turbin angin [9],[12]. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah dengan membangun sistem pembangkit hibrid, yakni pembangkit gabungan antara keduanya [15]. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam kasus sistem pembangkit hibrid tenaga matahari dan tenaga angin ini: bentuk topologi baru dalam hybrid kedua pembangkit yang mengoptimalkan energy listrik yang dibangkitkan [15]; optimasi MPPT untuk sistem pembangkit hybrid [16]; pemodelan penggabungan system grid dengan sistem pembangkit hybrid [17]; dan optimalisasi pembangkit hybrid dengan algoritma genetika [18].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka pada penelitian ini akan di desain suatu metode dalam rangka pengendalian proses suplai sumber daya pada beban melalui desain kontrol pembangkit listrik hibrid. Mekanisme kontrol pembangkit listrik hibrid ini didesain berdasarkan metode *PI controller*.

Pembangkitan energi listrik dari energi matahari menggunakan model modul panel surya (*solar panel module*) berkapasitas 250 watt. Pembangkitan energy listrik dari energi angin menggunakan model wind turbin dengan kapasitas daya maksimal hingga 0,5 kW. Dengan baterai kapasitas 100AH, 48 volt.

Penelitian ini menghasilkan desain kontrol pembangkit listrik hibrid berbasis sistem kecerdasan buatan dan penelitian ini diharapkan memberikan alternatif metode desain untuk pengendalian daya dari suatu sistem pembangkit hybrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbine*), dan baterai pada beban kapasitas 3500 watt. Selain itu penelitian ini memberikan alternatif metode desain system kontrol berbasis system kecerdasan buatan pada sistem pembangkit hibrid tenaga matahari, tenaga angin dan baterai dalam rangka menjaga ketersediaan kebutuhan daya listrik yang konstan dan optimal.

## 1.2 Perumusan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa permasalahan antara lain:

1. Bagaimana mekanisme kerja sistem kendali pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel*), tenaga angin (*wind turbine*) dan baterai dibutuhkan untuk sistem penyimpanan energi sekaligus mampu memberi kekurangan daya pada sistem.
2. Bagaimana mengoptimalisasi pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel*), tenaga angin (*wind turbine*) dan baterai menggunakan *particle swarm optimization* (PSO) berbasis *artificial intelligent* (AI) control.

## 1.3 Manfaat dan Tujuan

Adapun manfaat dan tujuan dari tesis ini adalah sebagai berikut :

1. Menghasilkan desain kontrol untuk model sistem pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbine*), dan baterai pada beban kapasitas 3500 watt.
2. Menghasilkan desain kontrol berbasis *artificial intelligent system* untuk model sistem pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbine*), dan baterai pada beban kapasitas 3500 watt.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pembangkitan energi listrik dari energi matahari menggunakan panel surya (*solar panel module*) kapasitas 250 watt, energi angin (*wind turbine*) kapasitas 0.5 kW dan baterai berkapasitas 100 AH,48 volt.
2. Kapasitas beban terpasang maksimal 3500 watt.
3. Optimisasi kapasitas pembangkit listrik hibrid menggunakan *Particle swarm Optimization* (PSO) pada perangkat lunak Matlab.
4. Semua sistem pembangkit, sistem kontrol dan integrasinya dimodelkan menggunakan *Simulink Toolbox* pada perangkat lunak Matlab.

## 1.5 Kontribusi

Kontribusi yang diharapkan dari hasil penelitian tesis terkait dengan tujuan penelitian.

1. Memberikan alternatif metode desain untuk pengendalian daya dari suatu sistem pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbine*), dan baterai dengan kapasitas 100AH tegangan nominal 48 volt.
2. Memberikan alternatif metode desain sistem kontrol pembangkit listrik hibrid berbasis *artificial intelligent system* pada sistem pembangkit hibrid tenaga matahari (*solar panel module*), tenaga angin (*wind turbin*), dan baterai dalam rangka menjaga ketersediaan kebutuhan daya listrik yang konstan dan optimal.



## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Untuk mendukung penelitian ini terdapat beberapa penelitian terkait desain kontrol aliran daya pada pembangkit hibrid serta teori penunjang yang disajikan pada bab ini sebagai bahan referensi.

#### **2.1 Kajian Penelitian Terkait**

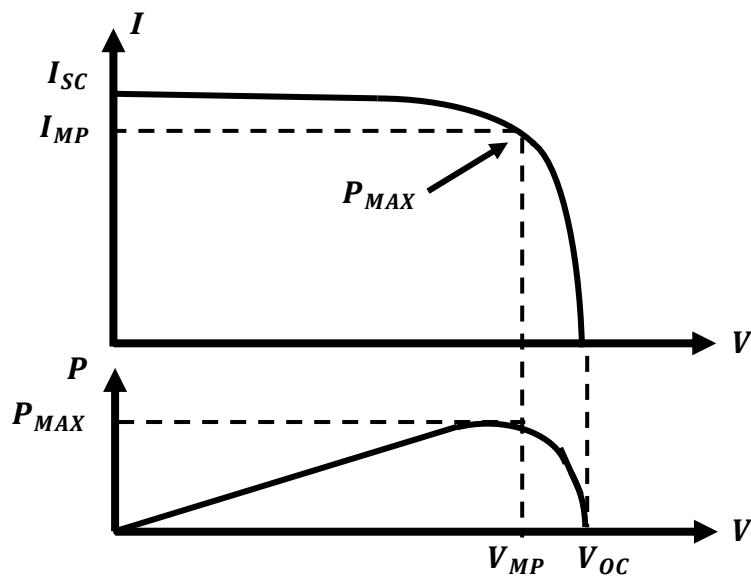
Beberapa penelitian yang terkait sudah dilakukan ialah: Optimal sizing sistem energi hibrida yang merupakan gabungan solar panel, angin dan baterai dapat dicapai dengan lebih teliti menggunakan berbagai densitas udara dan efisiensi solar panel. Menyebabkan ukuran kapasitas daya yang dihasilkan turbin angin dan solar panel bertambah. Metode lain yang juga bisa digunakan yaitu dengan meninjau respon permintaan dengan menggunakan teknologi smart grid untuk mengurangi kapasitas baterai terpasang pada sistem hibrid [24].

Sebagai alternatif sumber daya terbarukan seperti tenaga angin solar panel untuk meningkatkan persentase pembangkit listrik. Karena sumber daya terbarukan memiliki kontrol yang berbeda dari generator konvensional. Output dari angin dan solar panel sangat tergantung pada kondisi meteorologi, yang jarang sinkron dengan profil beban sistem. Karena memiliki integrasi skala besar sumber energi terbarukan, sifatnya intermiten. Dengan rasio optimal, perangkat penyimpanan baterai ditambahkan ke dalam sistem untuk membentuk kembali output hibrid agar lebih sesuai dengan profil beban [25]

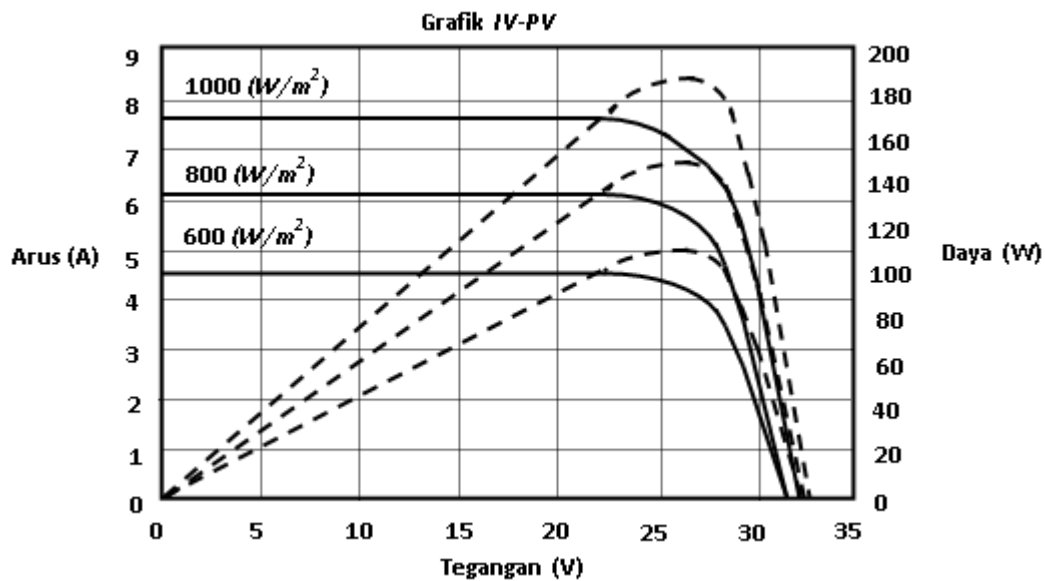
#### **2.2 Modul *Photovoltaic* (PV)**

Sel surya adalah komponen paling fundamental dalam sistem *photovoltaic* (PV) yang merupakan piranti yang berfungsi untuk mengubah energi matahari (solar) menjadi energi listrik. Pada umumnya, deretan PV (*PV array*) disusun oleh banyak sel surya dengan konfigurasi seri maupun paralel untuk mendapatkan arus, tegangan, maupun daya yang diinginkan [13]. Setiap sel surya dapat disamakan dengan dioda yang terbuat dari material semikonduktor dengan hubungan p-n (*p-n junction*). Ketika sambungan tersebut menerima cahaya matahari, maka akan

menghasilkan arus listrik melalui proses efek *photovoltaic*. Kurva karakteristik dari output daya terhadap tegangan (P-V *curve*) dan output arus terhadap tegangan (I-V *curve*) diperlihatkan pada Gambar 2.1 [1]. Dapat dilihat bahwa daya maksimum bisa dicapai berdasarkan kurva karakteristiknya. Gambar 2.2 memperlihatkan karakteristik dari deretan PV terhadap perubahan intensitas cahaya [1].

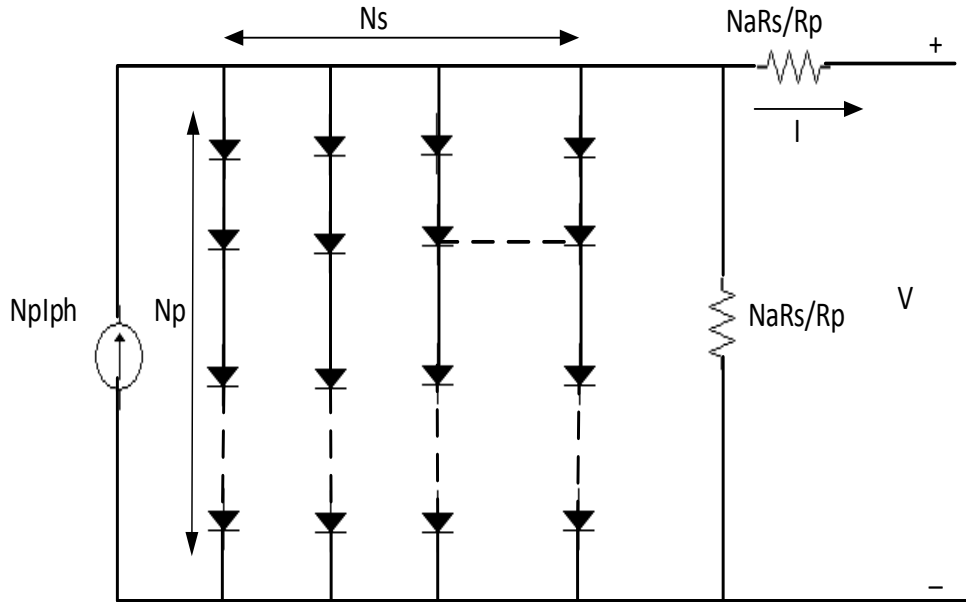


Gambar 2.1. Karakteristik Daya Keluaran Deretan PV [1]



Gambar 2.2. Karakteristik Daya Keluaran PV terhadap Variasi Cahaya Matahari [1]

Modul PV merupakan kumpulan banyak sel surya (*photovoltaic cells*) yang biasanya terhubung secara seri maupun paralel. Model ekivalen yang menyatakan modul PV yang dengan konfigurasi sel surya sebanyak  $N_p$  secara paralel dan  $N_s$  secara seri dinyatakan oleh Gambar 2.3 [4]. Jika sel-sel tersebut terhubung secara paralel, maka tegangan output total adalah sama dengan tegangan output satu sel dan arus outputnya merupakan penjumlahan arus output semua sel. Karena satu solar sel bisa memiliki arus hingga 3 A dengan tegangan output kurang dari 0.7 V, maka koneksi secara paralel jarang digunakan.



Gambar 2.3. Model Ekivalen Modul PV [4]

Persamaan arus output dari model pada Gambar 2.3 dinyatakan oleh [6]:

$$I \left( 1 + \frac{R_s T}{R_p T} \right) = N_p I_{sc} - N_p I_o \left( \exp \left( \frac{q \left( \frac{V}{N_s} + I R_s T \right)}{A K T_c} \right) - 1 \right) - \left( \frac{V}{R_p T} \right) \quad (1)$$

dengan total hambatan paralel (*shunt resistance*) adalah:

$$R_{pT} = \frac{N_p}{N_s} R_p$$

dan total hambatan seri (*series resistance*) adalah:

$$R_{sT} = \frac{N_s}{N_p} R_s$$

Metode Newton Raphson digunakan untuk mencari akar dari fungsi nonlinier untuk mendapatkan titik maksimumnya [19]:

$$I_{n+1} = I_n - \frac{f(I_n)}{f'(I_n)} \quad (2)$$

Maka fungsi dari arus dapat dinyatakan dengan:

$$f(I) = I \left( 1 + \frac{R_{sT}}{R_{shT}} \right) - N_p I_{sc} + N_p I_o \left( \exp \left( \frac{q \left( \frac{V}{N_s} + I R_{sT} \right)}{A K T_c} \right) - 1 \right) + \frac{V}{R_{shT}} \quad (3)$$

Turunan dari  $f(I)$  dinyatakan oleh:

$$f'(I) = \left( 1 + \frac{R_{sT}}{R_{shT}} \right) - N_p \frac{q R_{sT}}{A K T_c} I_o \left( \exp \left( \frac{q \left( \frac{V}{N_s} + I R_{sT} \right)}{A K T_c} \right) \right) \quad (4)$$

### 2.3 Turbin Angin

Angin adalah udara bergerak yang terjadi karena pemanasan tidak merata oleh matahari terhadap permukaan bumi. Gerakan udara adalah energi kinetik angin yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti penggerak generator pembangkit listrik melalui sistem konversi dengan turbin angin. Jumlah daya angin yang ditangkap turbin tergantung kepada ukuran baling-baling turbin dan kecepatan angin, dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut [12]:

$$P_{\omega t} = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho v^3 \quad (5)$$

$R$  adalah jari-jari turbin angin (m),  $\rho$  densitas udara ( $\text{kg/m}^3$ ), dan  $v$  kecepatan angin (m/s). Daya mekanik yang dihasilkan turbin ditentukan oleh efisiensi turbin angin, yang dirumuskan dengan persamaan:

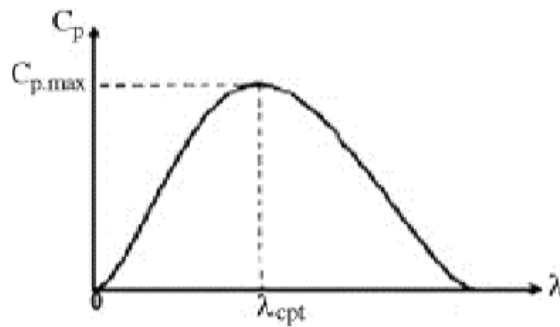
$$P_m = \frac{1}{2} \eta \pi \rho R^2 v^3 \quad (6)$$

Berdasarkan Bezt limit, efisiensi turbin angin maksimum adalah 0.57. Nilai efisiensi ini ditentukan oleh koefisien daya dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Koefisien daya adalah rasio daya mekanik pada turbin dengan daya angin yang ditangkap oleh baling-baling turbin dan TSR merupakan rasio kecepatan baling-baling turbin dengan kecepatan angin, yang dijabarkan dalam persamaan:

$$C_p = \frac{P_m}{P_{\omega t}} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{\omega_w R}{v} \quad (8)$$

$C_p$  adalah koefisien daya,  $\lambda$  adalah *Tip Speed Ratio* (TSR) dan  $\omega_w$  merupakan kecepatan angular turbin (rad/s). Gambar 2.4 menyatakan korelasi antara koefisien daya dengan TSR [12].



Gambar 2.4. Korelasi Antara Koefisien Daya ( $C_p$ ) dengan TSR ( $\lambda$ ) [12]

## 2.4 Particle swarm optimization (PSO)

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) pertama kali diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995, proses algoritmanya diinspirasi oleh perilaku sosial dari binatang, seperti sekumpulan burung dalam suatu swarm.[20]

PSO adalah teknik komputasi berdasarkan populasi yang disebut swarm, yang dibentuk oleh partikel, di mana setiap partikel mewakili kemungkinan solusi masalah; partikel bergerak di ruang pencarian multidimensi, selama mencari titik optimal. Tetapi PSO mencoba mencari solusi optimal dengan memindahkan partikel dan mengevaluasi fitness posisi baru [21]

*Particle Swarm Optimization* (PSO) adalah salah satu dari teknik komputasi *evolusioner*, yang mana populasi pada PSO didasarkan pada penelusuran algoritma dan diawali dengan suatu populasi yang random yang disebut dengan *particle*.

Beberapa istilah umum yang digunakan dalam optimisasi particle swarm dapat didefinisikan sebagai berikut [20] :

1. *Swarm* : populasi dari suatu algoritma.
2. *Particle*: anggota (individu) pada suatu *swarm*. Setiap *particle* merepresentasikan suatu solusi yang potensial pada permasalahan yang diselesaikan. Posisi dari suatu *particle* adalah ditentukan oleh representasi solusi saat itu.
3. *Pbest (Personal best)*: posisi *Pbest* suatu *particle* yang menunjukkan posisi *particle* yang dipersiapkan untuk mendapatkan suatu solusi yang terbaik.
4. *Gbest (Global best)* : posisi terbaik *particle* pada *swarm*.
5. *Velocity* (vektor): vektor yang menggerakkan proses optimisasi yang menentukan arah di mana suatu *particle* diperlukan untuk berpindah (*move*) untuk memperbaiki posisinya semula.
6. *Inertia weight* : *inertia weight* di simbolkan  $w$ , parameter ini digunakan untuk mengontrol dampak dari adanya *velocity* yang diberikan oleh suatu *particle*.

## 2.5 Baterai

Baterai digunakan untuk menyerap energi surplus dan menyediakan daya defisit dalam berbagai situasi operasi [22]. Pengisian baterai harus berada dalam kisaran tertentu untuk meningkatkan masa pakai baterai.

Pemilihan ukuran yang sesuai dari bank baterai membutuhkan analisis lengkap pada proses pengisian dan pengosongan baterai. Baterai SOC disimulasikan selama proses pengisian (charge) oleh [23]:

$$SOC(t+1) = SOC(t)(1 - \delta(t)) + \frac{I_{Bat}(t)\Delta t\eta_C}{C_{Bat}} \quad (9)$$

dengan :  $\delta(t)$  : adalah tarif self-discharge per jam,  $\Delta t$  : adalah tahap waktu di mana SOC dihitung satu jam,  $C_{Bat}$  : adalah nominal kapasitas bank baterai Ah,  $\eta_C$  : adalah faktor efisiensi biaya. Arus baterai  $I_{Bat}$  dapat dihitung dengan rumus:

$$I_{Bat} = \frac{P_{PV}(t) + P_{WT}(t) - P_{load}(t)}{V} \quad (10)$$

dengan :  $V$  adalah tegangan baterai.

Baterai SOC disimulasikan selama proses discharging oleh :

$$SOC(t+1) = SOC(t)(1 - \delta(t)) - \frac{I_{Bat}(t)\Delta t\eta_C}{C_{Bat}} \quad (11)$$

$$I_{Bat} = \frac{P_{load}(t) - P_{PV}(t) - P_{WT}(t)}{V} \quad (12)$$

Proses charge dan discharge dikenakan pada kendala berikut

$$SOC_{mim} = 1 - DOD_{max} \quad (13)$$

dengan :  $DOD_{max}$  adalah depth of discharge of baterai.

$$SOC_{mim} \leq SOC(t) \leq SOC_{max} \quad (14)$$

## 2.6 Pengendali PI

Pengendali PI adalah sistem pengendali gabungan antara pengendali proporsional dan integral. Dalam waktu kontinyu, sinyal keluaran pengendali PI dirumuskan sebagai [26] :

$$u(t) = K_p \left( e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right) \quad (15)$$

dengan :

$u(t)$  = sinyal keluaran pengendali PI,

$K_p$  = konstanta proporsional

$T_i$  = waktu integral

$K_i$  = konstanta integral

$e(t)$  = sinyal kesalahan(t)  $e(t)$  = referensi – keluaran *plant*)

Jadi fungsi alih pengendali PI (dalam domain s) dapat dinyatakan sebagai berikut [26]:

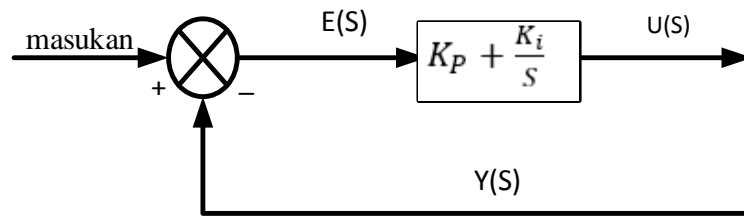
$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} \quad (16)$$

Kontrol propotional ialah merupakan sebuah penguat input sehingga hasil output tidak semakin menjadi kecil pada sebuah sistem. Output proportional adalah hasil perkalian antara konstanta proposional dengan nilai errornya. Perubahan yang terjadi pada sinyal input akan menyebabkan sistem secara langsung mengubah output sebesar konstata pengalinya.

Kontrol Integral berfungsi menghasilkan respon sistem yang memiliki kesalahan nol (0). Pada controller integral ,respon pada sistem akan meningkat secara kontinu terus-menerus kecuali nilai error yang diintegralkan batasan atas t dan batasan bawah 0 (nol). Kontroller integral membantu menaikkan respon sehingga dapat menghasilkan keluaran yang diharapkan.

$$U(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (17)$$





Gambar 2.5 Diagram Blok pengendalian PI [26]

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### DESAIN OPTIMALISASI KAPASITAS UNIT PEMBANGKIT DAN BATERAI

Pada bab ini membahas permasalahan dalam optimasi desain kapasitas pembangkit dan algoritma optimasi dengan metode PSO. Permasalahan yang akan dipecahkan dalam optimisasi ini berisi *single objective function* (berupa fungsi harga) dengan memperhitungkan kondisi sistem (pola operasi sistem dan fluktuasi beban) dan potensi energi yang ada, yang sulit dipecahkan dengan metode optimisasi konvensional. Selain itu, model yang digunakan juga mempunyai *constraint* yang harus dipenuhi.

#### 3.1. Pola Operasi Sistem

Pada penelitian ini, pola operasi sistem yang terdiri dari PV, WTGS, Baterai dan beban dijabarkan sebagai berikut :

1. Jika seluruh daya listrik yang dihasilkan oleh PV dan WTGS disuplai ke beban, Sedangkan kekurangan energinya akan disuplai oleh baterai selama energi baterai masih tersedia ( $SOC \geq 30\%$ ).

$$P_{PV}(t) + P_{WTGS}(t) + P_{discharge}(t) = P_L(t), \quad (1)$$

2. Jika jumlah daya PV dan WTGS melebihi load demand, sementara energi baterai belum terisi penuh ( $SOC < 100\%$ ). Maka kelebihan daya disimpan ke dalam baterai.

$$P_{PV}(t) + P_{WTGS}(t) = P_L(t) + P_{charge}(t), \quad (2)$$

3. Jika baterai terisi penuh ( $SOC = 100\%$ ), maka kelebihan daya akan dibuang melalui *ballast load*.

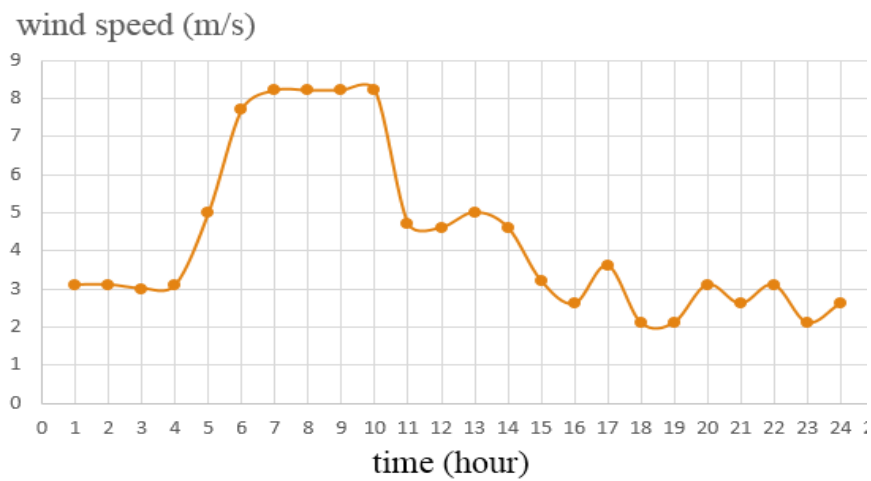
$$P_{PV}(t) + P_{WTGS}(t) = P_L(t) + P_{ballast}(t), \quad (3)$$

Jika permintaan beban melebihi kapasitas PV dan WTGS atau energi yang tersimpan dalam baterai mencapai level minimum, maka beberapa bagian dari beban harus dimatikan. Kemudian, akan terjadi kehilangan beban atau *loss of load*.

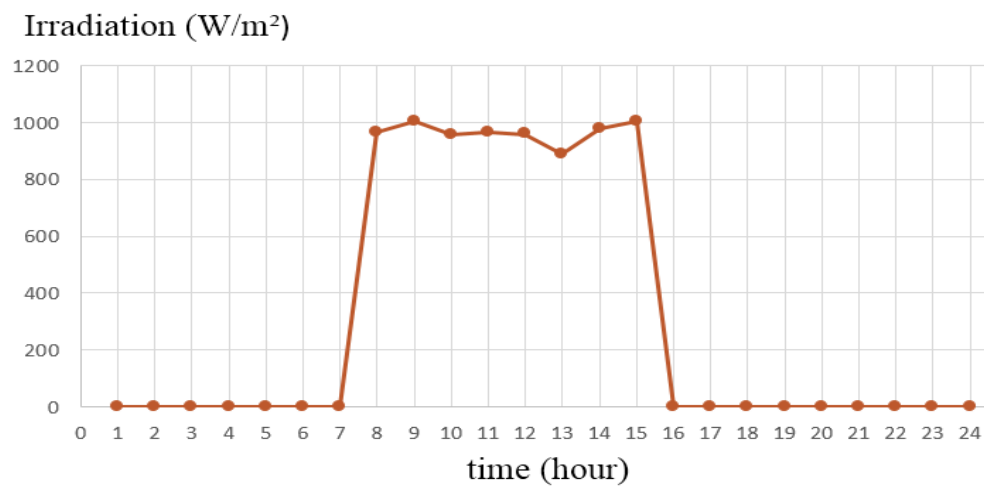
### **3.2. Masalah Optimasi dan Batasan**

Untuk menyelesaikan Permasalahan optimisasi kapasitas PV, WTGS dan baterai, perlu mempertimbangkan potensi energi angin dan sinar matahari di daerah yang dijadikan lokasi penelitian. Pada penelitian ini sistem pembangkit hibrid ini ingin diterapkan pada puskesmas di Timur Leste. Telah dilakukan pengambilan data kecepatan angin, irradiansi matahari dan beban di puskesmas tersebut. Data tersebut diambil selama 24 jam dalam 1 hari dengan pengambilan data tiap 1 jam sekali. Data kecepatan angin tersebut ditunjukkan pada gambar 3.1. Data irradiansi matahari ditunjukkan pada gambar 3.2. Data beban ditunjukkan pada gambar 3.3. Data-data tersebut akan dimasukkan dan dipertimbangkan dalam optimisasi, sehingga diharapkan dapat diperoleh hasil yang akurat dan sesuai dengan kondisi wilayah tersebut.

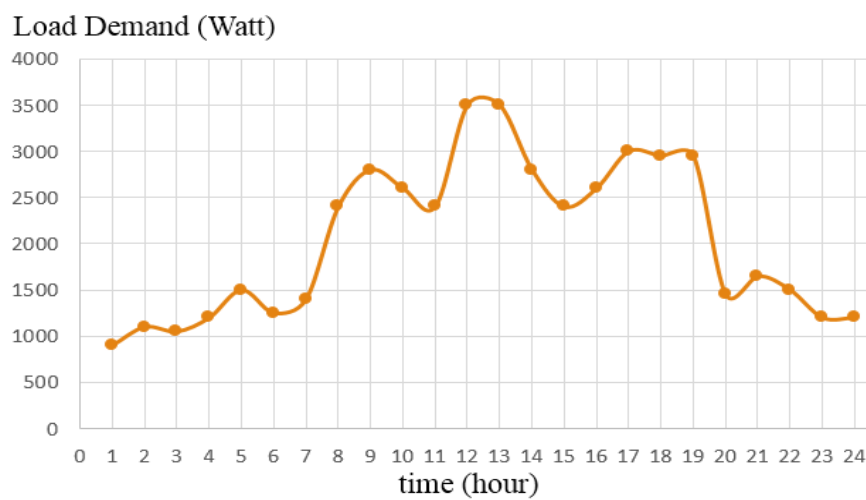
Optimasi kapasitas unit pembangkit dan baterai bertujuan untuk mendapatkan harga minimal dalam pengadaan jumlah masing – masing unit pembangkit dan baterai. Ada beberapa kondisi yang harus dipenuhi dalam operasional sistem hibrid ini. Beberapa kondisi tersebut diantaranya yang paling penting adalah tidak ada pelepasan beban, selain itu juga harus memiliki kualitas daya sistem yang baik dan tercapainya keseimbangan daya sistem. Kemudian dalam operasional baterai, level baterai (SOC) tidak boleh dalam kondisi kosong tanpa energi. Oleh karena itu, pada penelitian ini level baterai (SOC) dibatasi minimal 30%.



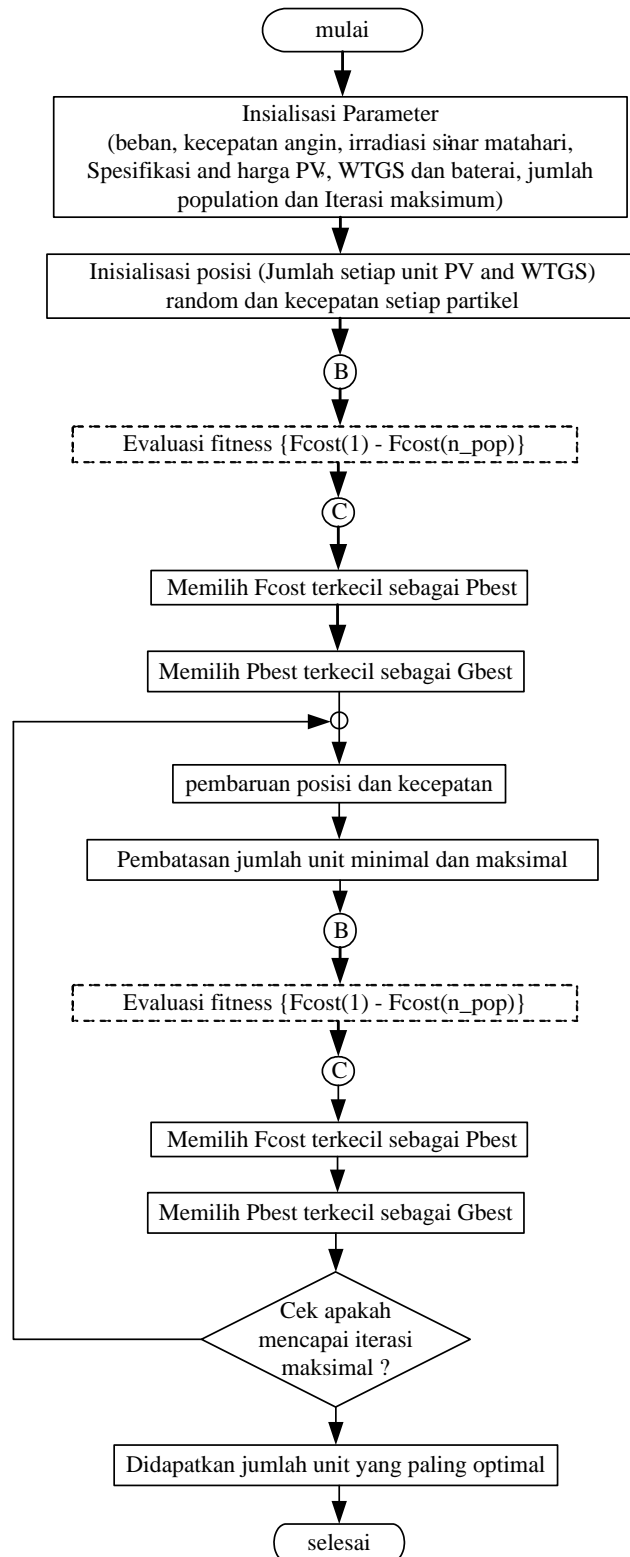
Gambar 3.1. Variasi kecepatan angin 24 jam dalam sehari



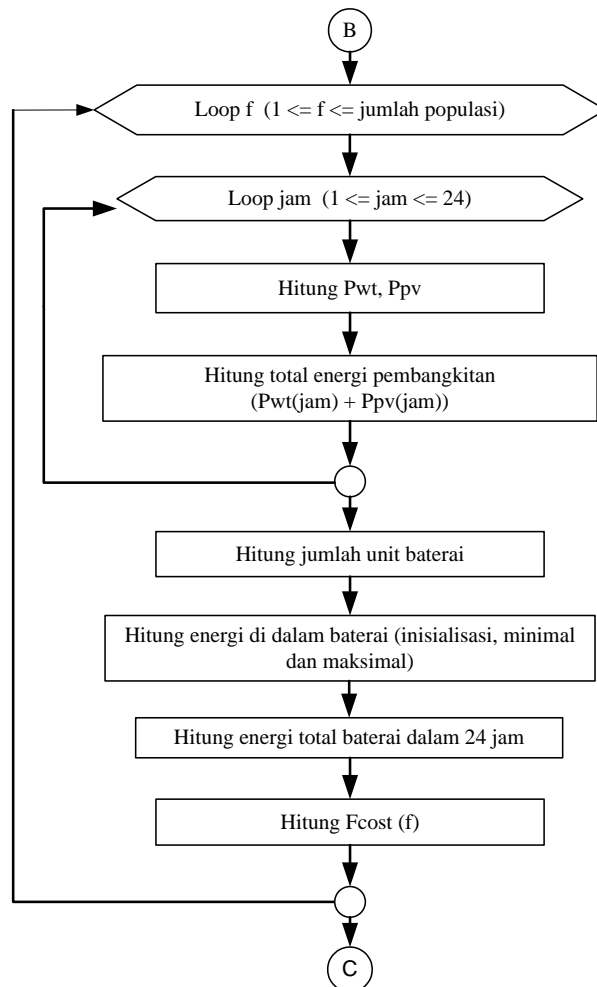
Gambar 3.2. Variasi iradiasi matahari 24 jam dalam sehari



Gambar 3.3. Permintaan beban 24 jam dalam sehari



Gambar 3.4 Flowchart algoritma PSO untuk optimasi



Gambar 3.5. Flowchart fungsi objektif (Fcost)

Algoritma PSO adalah salah satu algoritma populer dalam memperoleh nilai optimal dari suatu masalah. Dalam Particle Swarm Optimization (PSO), populasi diasumsikan memiliki ukuran tertentu dengan setiap individu yang terletak di lokasi acak dalam ruang multidimensi. Setiap individu diasumsikan memiliki dua karakteristik, yaitu posisi dan kecepatan. Setiap individu bergerak dalam ruang tertentu dan mengingat posisi terbaik yang telah dilewati atau ditemukan untuk sumber makanan atau nilai fungsi obyektif. Setiap individu menyampaikan informasi atau posisi terbaik kepada individu lain dan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing berdasarkan informasi yang diterima mengenai posisi yang baik. Setiap individu akan melakukan evaluasi

kebugaran untuk menentukan harganya. Algoritma pengoptimalan ukuran yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.4. Bagan alur evaluasi kebugaran ditunjukkan pada Gambar 3.5. Setiap perubahan posisi dan kecepatan di masing-masing individu diperoleh dari rumus dalam persamaan 4 dan 5.

$$V_{id}^{k+1} = w \times V_{id}^k + c_1 \times rand_1 \times (P_{id} - X_{id}) + c_2 \times rand_2 \times (G_{id} - X_{id}) \quad (4)$$

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + V_{id}^{k+1} \quad (5)$$

$V_{id}$  adalah komponen dari kecepatan individu pada dimensi  $d$ ,  $X_{id}$  adalah posisi individual  $i$  pada dimensi  $d$ ,  $w$  adalah parameter pembobotan,  $c1$  dan  $c2$  adalah konstanta laju pembelajaran yang nilainya antara 0 hingga 1,  $rand1$ ,  $rand2$  adalah parameter acak antara 0 hingga 1,  $P_{id}$  adalah  $pBest$  (lokal terbaik) individu dalam dimensi  $d$ ,  $G_{id}$  adalah  $gBest$  (global terbaik) dalam dimensi  $d$ .

### 3.3. Hasil Optimal

Bagian ini menyajikan optimasi ukuran kapasitas hasil dengan parameter yang ditunjukkan dalam tabel 3. 1.

Tabel 3.1. Parameter Inisialisasi

Parameter WTGS	Nilai	Parameter PV	Nilai
P-rated	0,5 kW	P	250 W
D	1,67 m	Prat	125 W
A	2,189 m <sup>2</sup>	floss	0,5
$\rho$	1, 225	Gh	Irradiance
$\eta$	30%	Gs	1000
blade	3	ap	0,43
Start-up wind speed	2,5 m/s	Ts	27
Nominal wind speed	10 m/s	Tc	40

Parameters Battery	Nilai	Parameters PSO	Nilai
Capacity	100AH	population	30
Terminal voltage	48 volt	Maximum iteration	20



Terdapat beberapa parameter inisialisasi algoritma optimasi kapasitas unit pembangkit dan baterai. Dengan meninjau potensi angin dan energi surya per jam dalam satu hari di daerah sekitar Pusat kesehatan masyarakat, dan meninjau data beban per jam dalam 1 hari untuk pusat kegiatan operasional Puskesmas, pencarian optimal PV unit, WTGS dan baterai dengan *SOC* 40% baterai diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.2.

Tabel 3.2. Hasil optimal sizing pada 10 kali percobaan

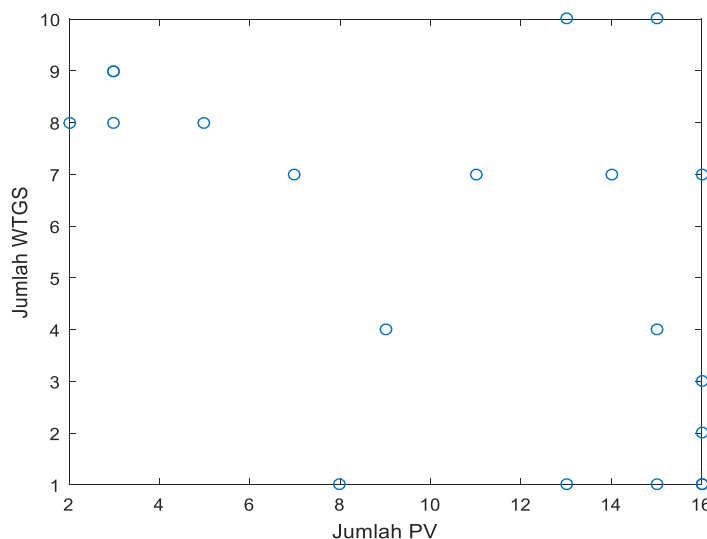
Running	PV Unit	WTGS Unit	Battery Unit	Last SOC Value	Minimum Cost
1	16	5	22	31%	\$67857
2	16	5	22	31%	\$67857
3	11	10	22	31%	\$71250
4	16	5	22	31%	\$67857
5	11	10	22	31%	\$71250
6	16	5	22	31%	\$67857
7	16	5	22	31%	\$67857
8	11	10	22	31%	\$71250
9	16	5	22	31%	\$67857
10	16	5	22	31%	\$67857

Proses pencarian titik optimal (harga yang paling murah) dilakukan sebanyak 10x running program. Dari hasil running program tersebut didapatkan harga yang paling murah adalah \$67857. Dengan kombinasi 16 unit PV dengan kapasitas 250 W, 5 unit WTGS 0,5 kW dengan 22 unit baterai dengan kapasitas 100 AH, 48 Volts. Pencarian nilai optimal dengan algoritma PSO pada kasus ini dilakukan pada area 2 dimensi yang ditempati oleh sekumpulan populasi yang terdiri dari beberapa individu – individu. Jumlah individu yang dimasukkan pada kasus ini sebanyak 30 individu yang tersebar secara acak di area 2 dimensi tersebut. 1 individu merepresentasikan nilai  $(x,y)$  dengan  $x$  adalah jumlah unit PV dan  $y$  adalah jumlah unit WTGS. Dari masing – masing individu tersebut dilakukan evaluasi individu yang memiliki nilai paling optimal atau harga yang paling murah. Dalam proses evaluasi tersebut, jumlah unit baterai diprediksi dengan memperhatikan potensi energi angin dan matahari di lokasi tersebut.

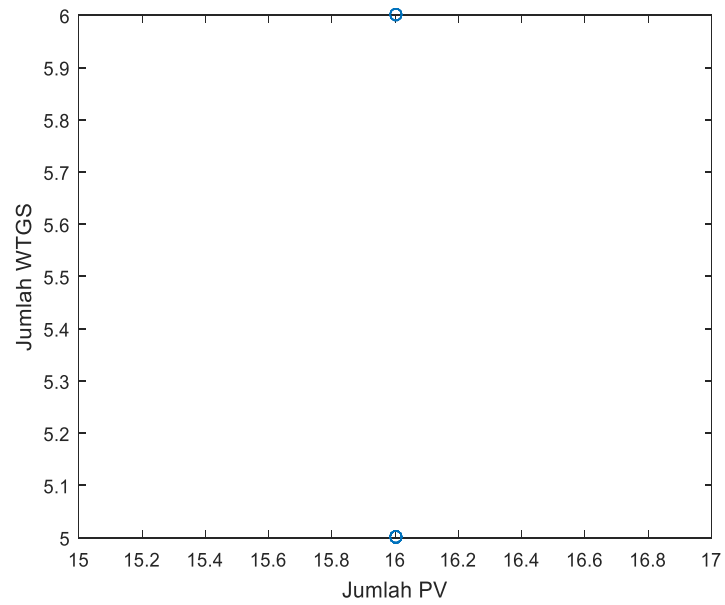
Selain itu juga dengan memperhatikan data fluktuasi beban yang dihitung dalam 1 x 24 jam.

Gambar 3.6 menunjukkan inisialisasi populasi awal. Dengan algoritma PSO, sekawanan populasi tersebut akan mencari titik optimal berdasarkan fungsi obyektif yang telah ditentukan (fungsi harga). Dengan memperbarui posisi dan kecepatan masing – masing individu terhadap titik optimalnya sebanyak 20 kali iterasi, didapatkan sekawanan populasi tersebut berkumpul di suatu titik dalam ruang 2 dimensi tersebut seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. Titik tersebut merupakan nilai optimal dari permasalahan penentuan kapasitas unit pembangkit dan baterai pada kasus ini.

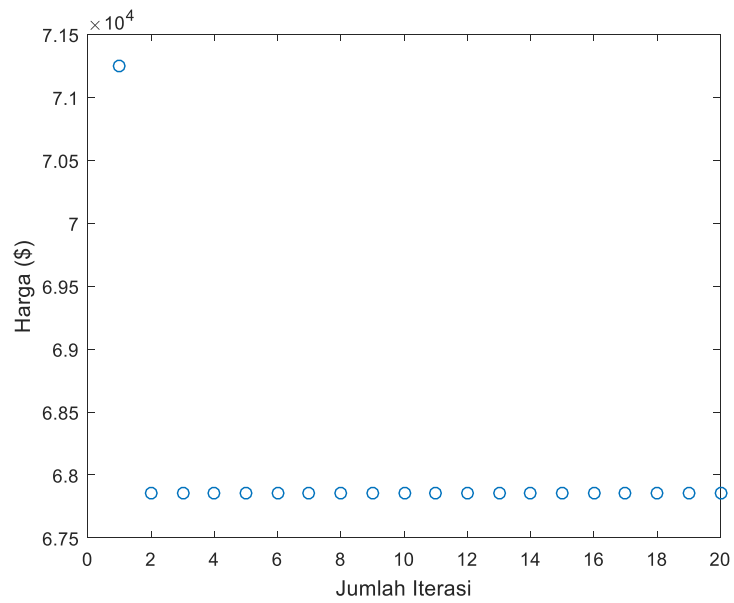
Hasil pencarian titik optimal berdasarkan fungsi obyektif yang berupa harga termurah pada setiap iterasi ditunjukkan melalui variabel *gBest* seperti pada gambar 3.8. Dalam algoritma PSO nilai optimal tersebut didapatkan dari variabel *gBest* yang dipilih dari nilai *pBest*. Nilai *pBest* didapatkan dari proses evaluasi fitness dengan rumusan fungsi harga. Dari gambar 3.8 dapat disimpulkan bahwa nilai termurah dicapai pada harga \$. 67857.-. Dari gambar 3.8 juga dapat diketahui bahwa ketika iterasi ke 4, hasil evaluasi fitness dengan fungsi harga telah mencapai titik optimalnya.



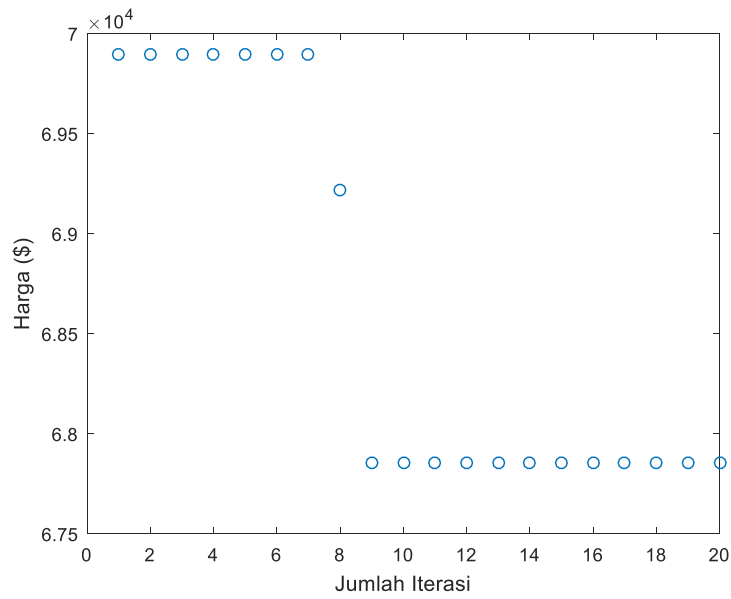
Gambar. 3.6. Inisialisasi partikel secara acak dalam ruang 2 dimensi



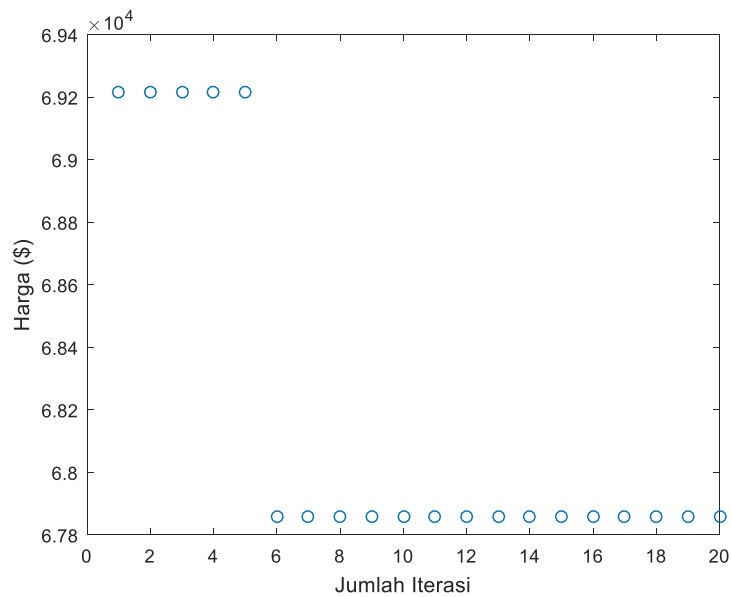
Gambar 3.7. Semua partikel mencapai nilai optimal pada iterasi terakhir



a) Percobaan pertama



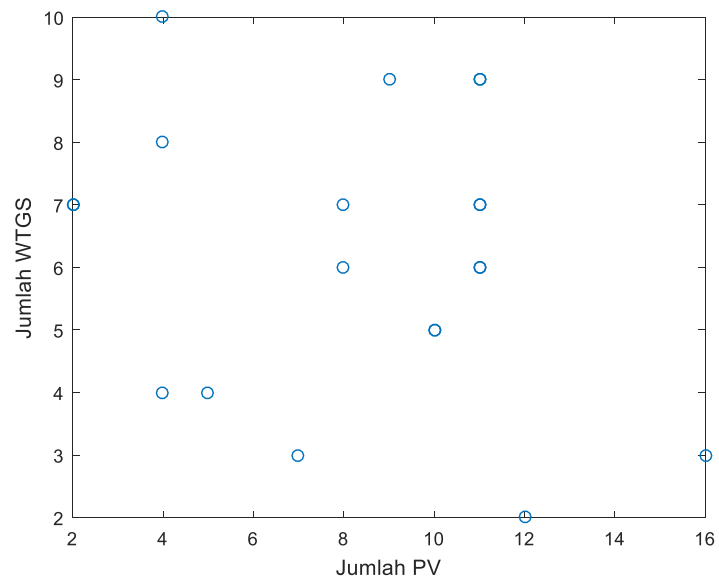
b) Percobaan keempat



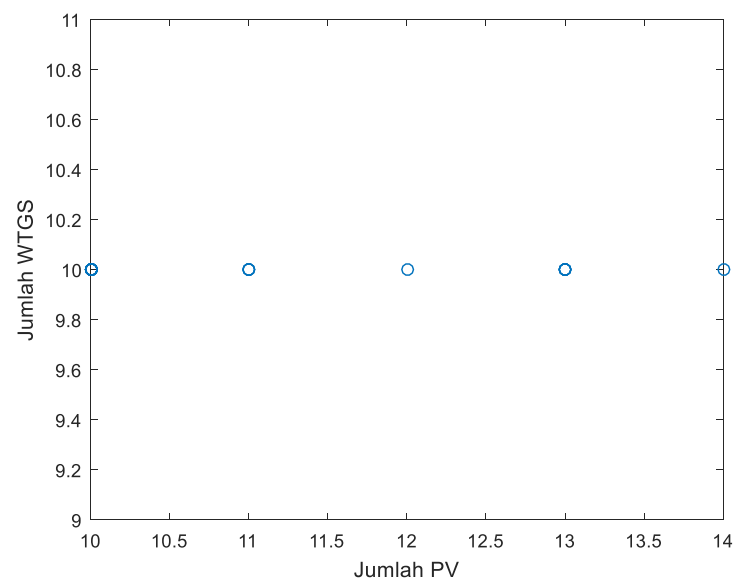
c) Percobaan kesepuluh

Gambar 3.8. Hasil seleksi pada 20 kali iterasi sebagai nilai optimal.

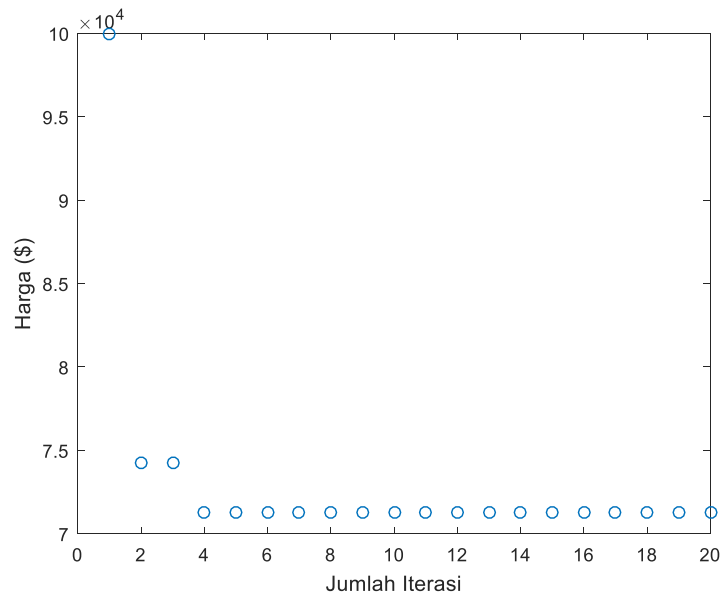
Dari hasil running program ke-3, ke-5 dan ke-8 didapatkan harga sebesar : \$71250. Dengan kombinasi 11 unit PV dengan kapasitas 250 W, 10 unit WTGS kapasitas 0.5 kW dan 22 unit baterai dengan kapasitas 100 AH, 48 Volts.



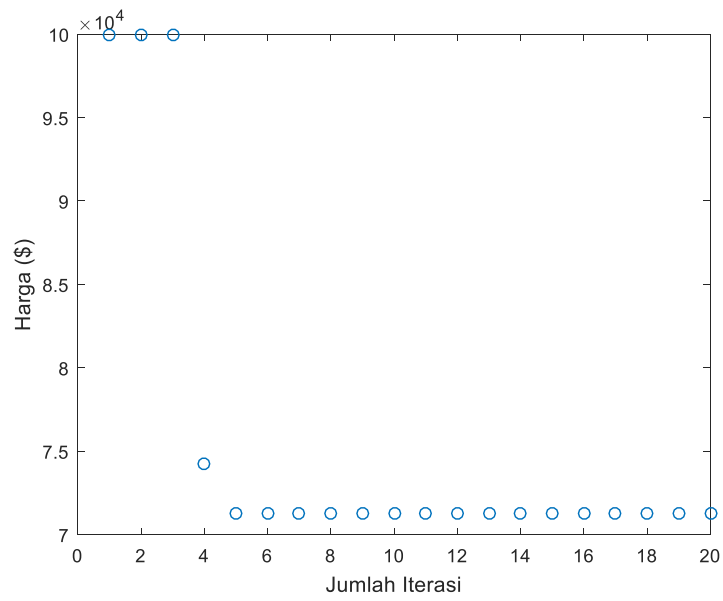
Gambar. 3.9 Inisialisasi partikel secara acak dalam ruang 2 dimensi



Gambar 3.10. Nilai optimal dari area 2 dimensi pada iterasi terakhir



a) Percobaan ketiga



b) percobaan kelima

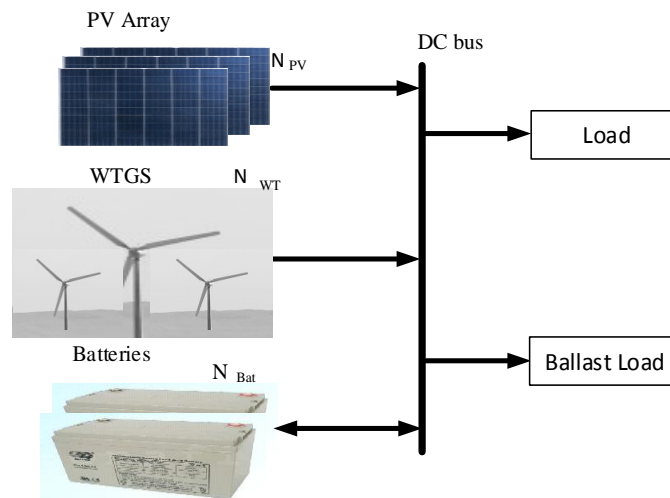
Gambar 3.11. Hasil seleksi pada 20 kali iterasi sebagai nilai optimal.

## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan membahas hasil simulasi sistem pembangkit hibrid PLTS, PLTB dan baterai terkait respon dari kontrol.

#### 4.1 Konfigurasi Sistem Hibrid



Gambar 4.1. Pembangkit System Hybrid PV, WTGS dan Baterai

Desain Sistem pembangkit hibrid pada penelitian ini terdiri dari photovoltaic (PV), sistem pembangkit listrik tenaga angin (WTGS), baterai dan beban. Setiap pembangkit, baterai dan beban terhubung pada bus DC. PV dan WTGS, masing - masing dihubungkan dengan sebuah konverter DC – DC boost yang dikontrol untuk selalu menghasilkan daya maksimum. Baterai dihubungkan dengan konverter bidirectional yang dikontrol untuk mengatur tegangan DC bus tetap konstan 311 Volt.

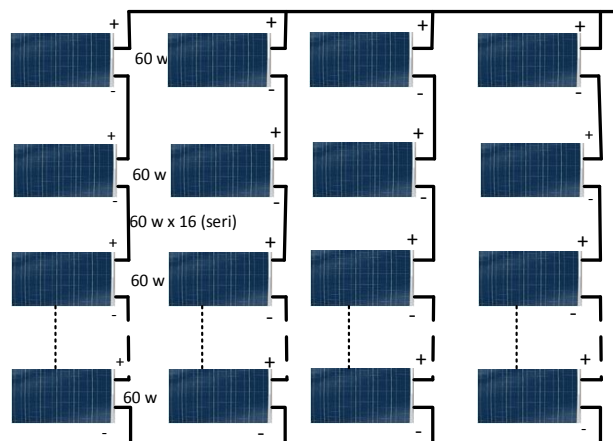
Sistem ini beroperasi sebagai berikut: PV Array dan turbin angin mulai menghasilkan listrik sebagai tingkat iradiasi dan kecepatan angin mencapai nilai yang cukup pada siang hari. Jumlah pembangkit listrik PV sangat tinggi tergantung pada tingkat insolation dan suhu serta efisiensi energi dari modul sehingga sangat bervariasi dengan waktu pada interval per jam. Turbin angin mulai menghasilkan daya pada kecepatan angin lebih dari 2 m/s dan berhenti pada kecepatan di atas 8 m/s. Pengisian dan pemakaian baterai bank dapat dikontrol

dengan sistem manajemen baterai untuk pengoperasian sistem hibrid. Daya DC diubah menjadi daya AC untuk beban AC melalui inverter.

#### 4.1.1 Konfigurasi Sistem PLTS

PLTS merupakan pembangkit energi renewable yang memanfaatkan energi sinar matahari untuk menghasilkan listrik yang sering dinamakan panel surya. Modul PV adalah gabungan dari beberapa cell PV yang dihubungkan secara seri dan paralel untuk mendapatkan tegangan yang besar. Sedangkan PV array ialah modul PV yang disambung secara seri kemudian disambung paralel.

Pada konfigurasi panel surya yang digunakan terdiri dari 16 unit PV yang dihubungkan secara seri. Masing-masing unit PV berkapasitas 240 watt.

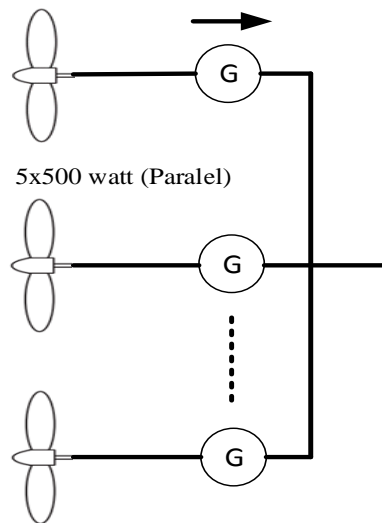


Gambar 4.2 Konfigurasi Sistem PLTS

#### 4.1.2 Konfigurasi Sistem PLTB

PLTB adalah pembangkit yang memanfaatkan energi dari angin sebagai penggerak untuk memutar turbin angin yang disambung ke generator untuk merubah energi gerak menjadi energi listrik. Dari pembangkit listrik tenaga Bayu ini daya yang dihasilkan sebesar 2500 watt. Dimana 2500 watt tersebut dihasilkan dari 5 pembangkit yang di paralel, masing-masing pembangkit berkapasitas 500 watt.





Gambar 4.3 Konfigurasi Sistem PLTB

#### 4.1.3 Konfigurasi Sistem Baterai

Baterai adalah komponen penyimpan muatan listrik yang mampu menyimpan muatan listrik sesuai kapasitasnya. Kapasitas baterai 100Ah/48V untuk menghasilkan 48 volt maka baterai dihubungkan seri. Dimana kapasitas baterai 24 volt dihubungkan seri untuk mendapatkan tegangan 48 volt.

Pada konfigurasi baterai ini ada 22 unit baterai dimana baterai tersebut 11 unit dihubungkan paralel dan 2 unit dihubungkan seri dengan tujuan untuk mendapatkan tegangan 48 volt, sedangkan dihubungkan paralel untuk mendapatkan AH yang tinggi.



Gambar 4.4 Konfigurasi Sistem baterai

## 4.2 Hasil Respon Kontrol

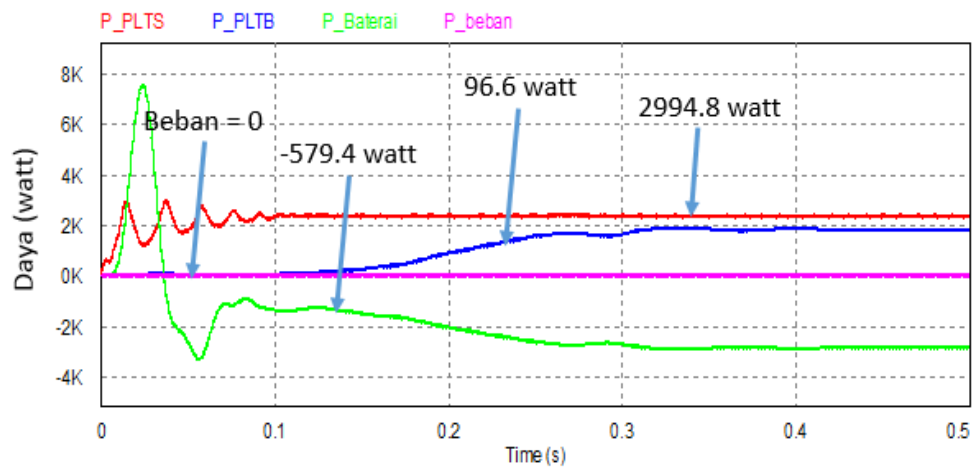
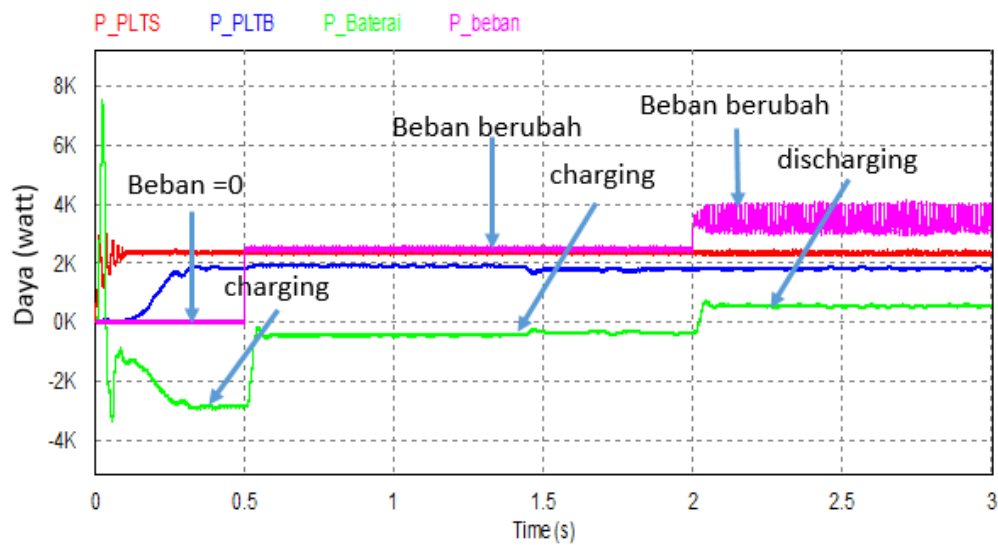
### 4.2.1 Kondisi P\_PLTS & P\_PLTB (tetap), P\_Beban (berubah)

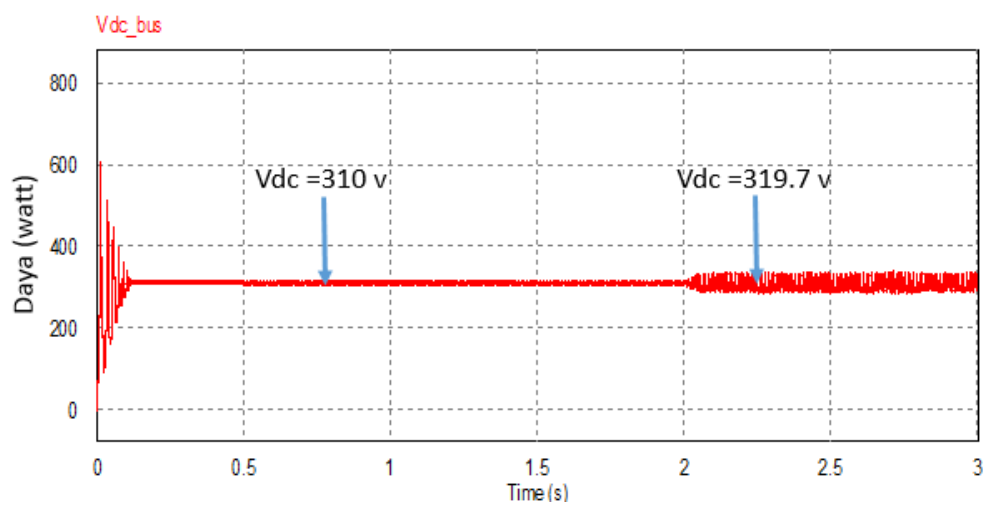
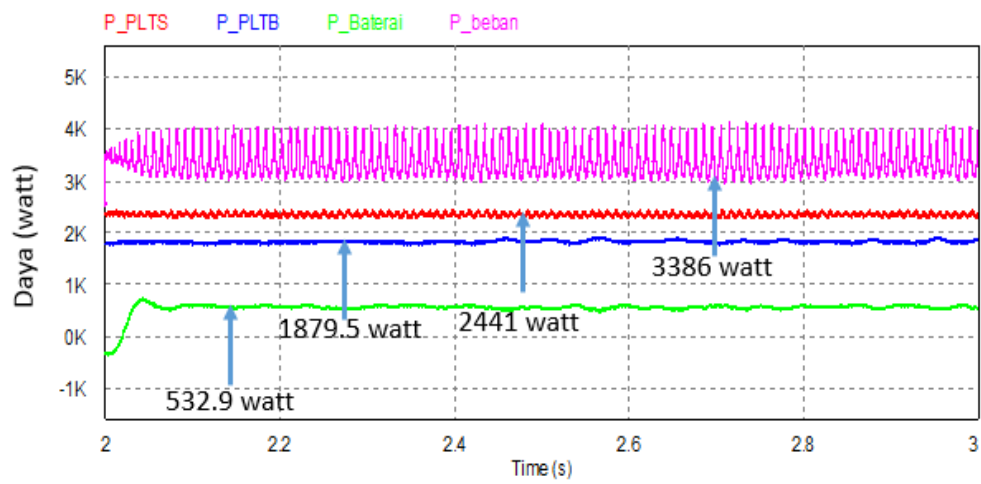
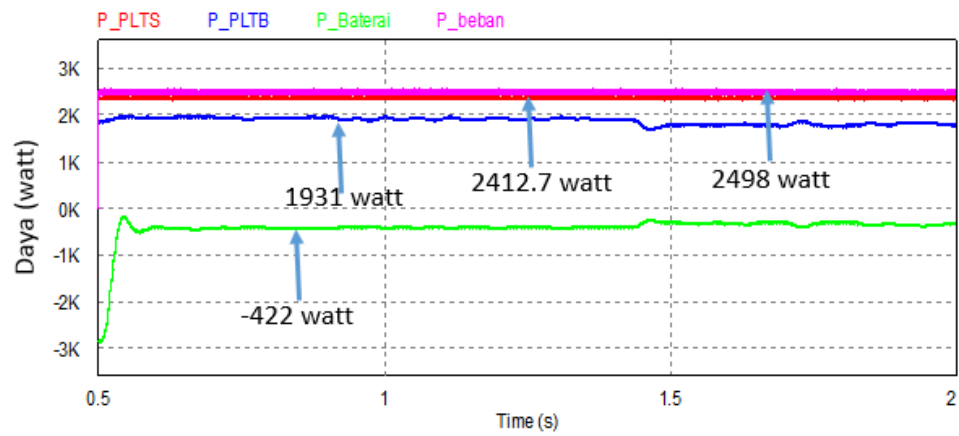
Pada sistem hibrid P\_PLTS dan P\_PLTB dioperasikan pada kondisi daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh panel surya dan wind turbin agar didapatkan daya yang efisiensi. Daya keluaran panel surya dan wind turbin dikontrol dengan sistem kontrol MPPT dengan masukan berupa daya dan tegangan keluaran panel surya dan wind turbin, sehingga daya P\_PLTS dan P\_PLTB terkontrol.

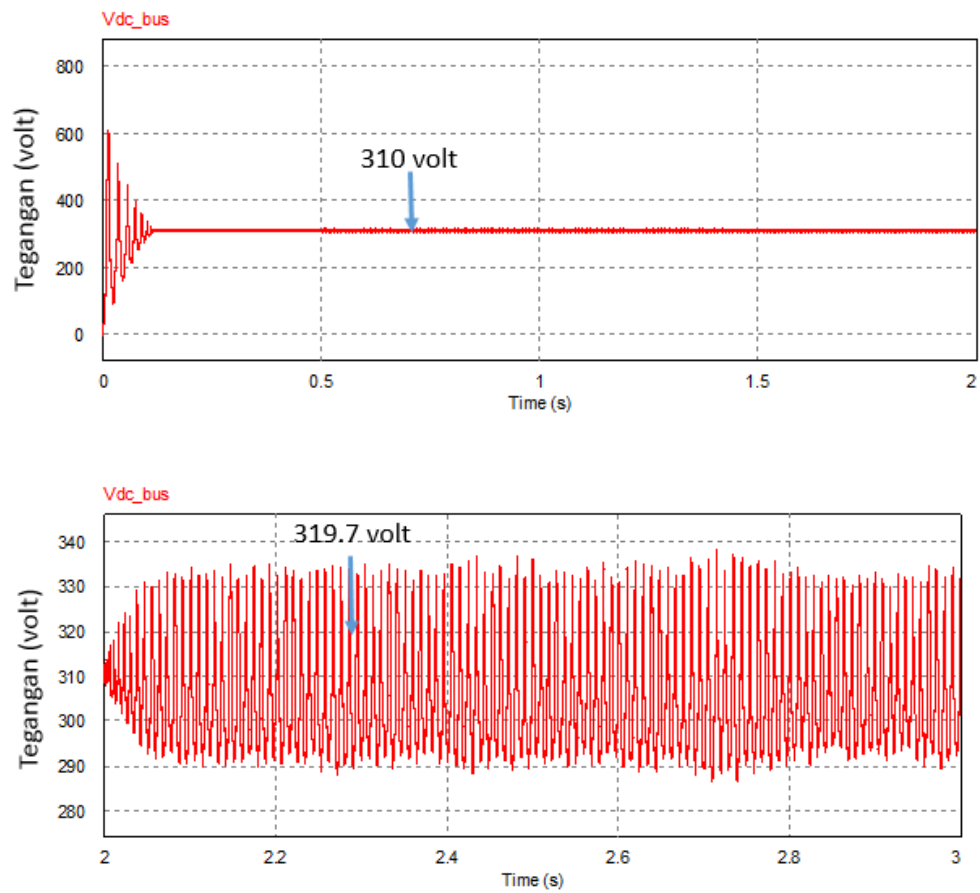
Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa ketika sistem mendapat daya masuk tetap dari PLTS dan PLTB. Maka beban lebih kecil atau nol (0) dari daya pembangkit hibrid ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ), kelebihan daya sistem akan digunakan untuk mengisi baterai (*charging*), berarti daya baterai negatif (-). Pada waktu 0-0.5 dt daya yang dihasilkan : PLTS, PLTB adalah 2994.8 watt, 96.6 watt dan daya baterai -579.4 watt ini kondisi beban 0 (nol). Ketika daya beban lebih kecil dari pembangkit ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ), daya sistem hibrid disuplai oleh pembangkit PLTS dan PLTB lebih besar maka daya baterai positif (-). Pada waktu 0.5-2 dt daya pembangkit PLTS, PLTB adalah : 1931 watt, 2412 watt dan daya baterai -422 watt. Sedangkan daya beban adalah : 2498 watt. Daya baterai positif (-) baterai charging karena daya beban lebih kecil dari pembangkit.

Sedangkan dari waktu 2-3 dt, dapat diketahui bahwa sistem mendapat masuk tetap dari PLTS, PLTB adalah 2441 watt, 1879.5 watt dan daya baterai 532 watt. Sedangkan daya beban 3886 watt berarti daya pembangkitan lebih besar dari beban ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ), maka sistem mengalami surplus daya. Maka sistem akan disuplai dari pembangkit sesuai dengan kebutuhan beban, kalau daya yang dihasilkan pembangkit hibrid melebihi kapasitas beban maka digunakan mengisi baterai (*charging*) tetapi baterai sudah penuh maka akan dibuang melalui ballast load.

Respon tegangan  $V_{dc\_bus}$ , pada kecepatan angin 8 m/s, irradiansi matahari  $1000 \text{ w/m}^2$  dan beban berubah. Dari gambar 4.5 diketahui bahwa ketika beban 0 (nol) tegangan  $V_{dc\_bus}$  310 volt dari waktu 0-2 dt dan waktu 2-3 dt terjadi perubahan beban maka tegangan  $V_{dc\_bus}$  sebesar 319.7 volt. Tegangan bus DC dapat dipertahankan sesuai regulasi dengan ripple tegangan pada kondisi daya charging/discharging.







Gambar 4.5 Respon aliran P dan V a) PLTS, PLTB pada beban berubah

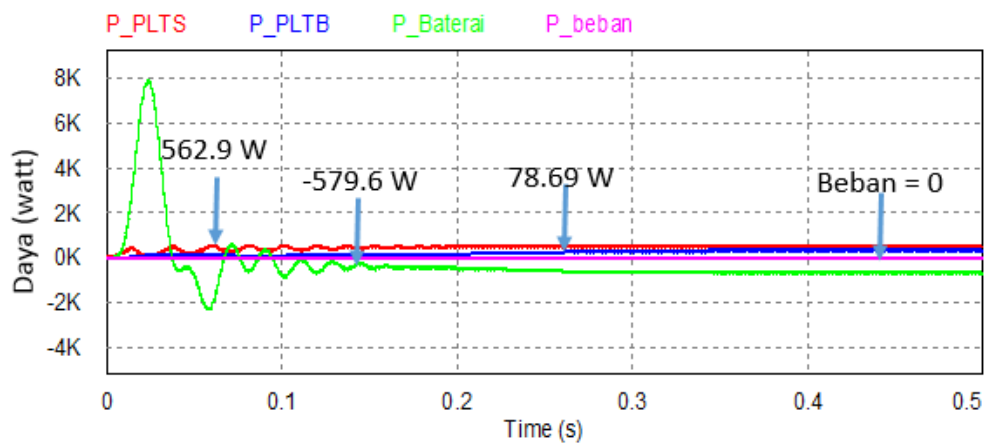
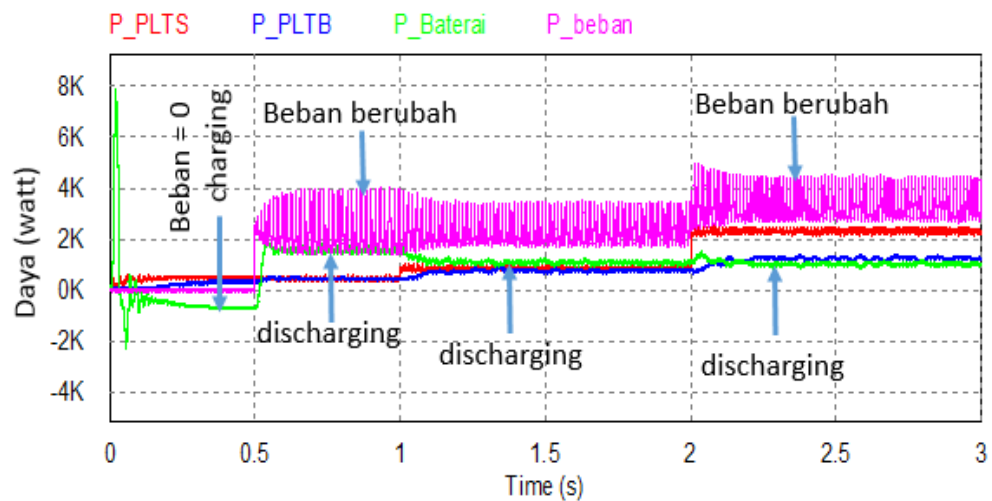
#### 4.2.2 Kondisi P\_PLTS & PLTB (berubah), P\_Beban (tetap)

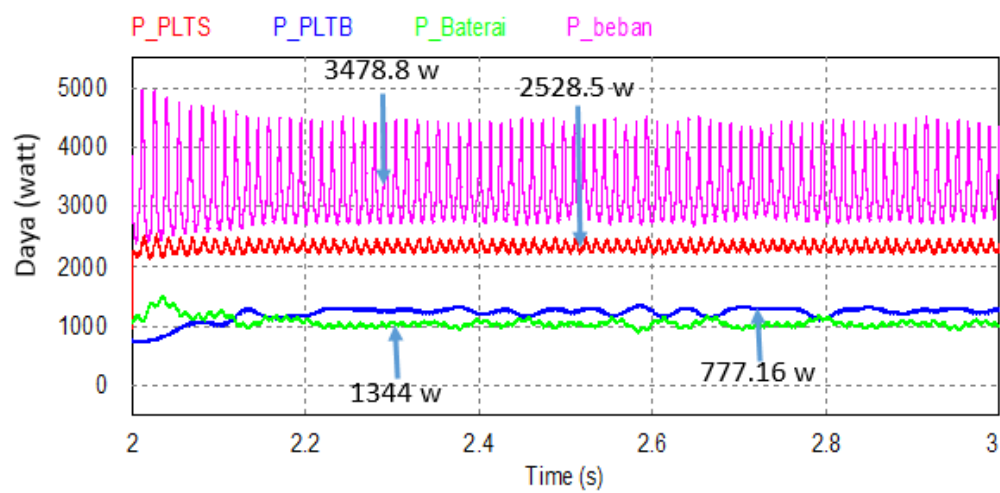
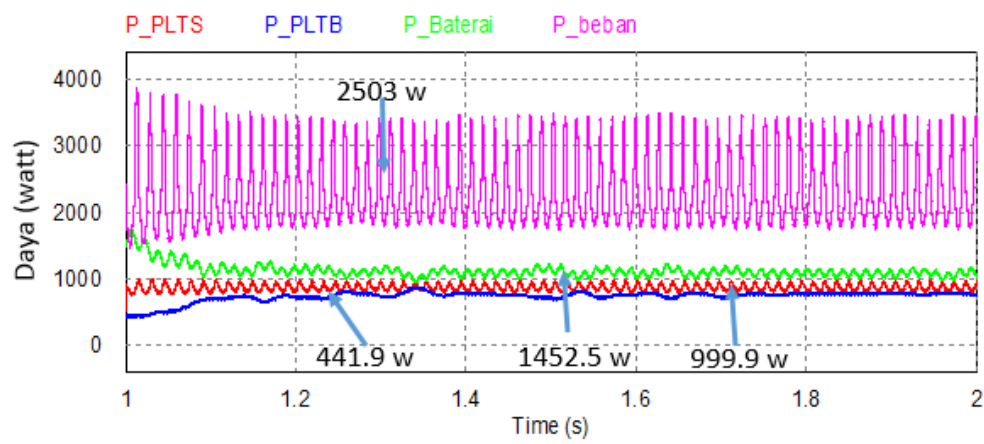
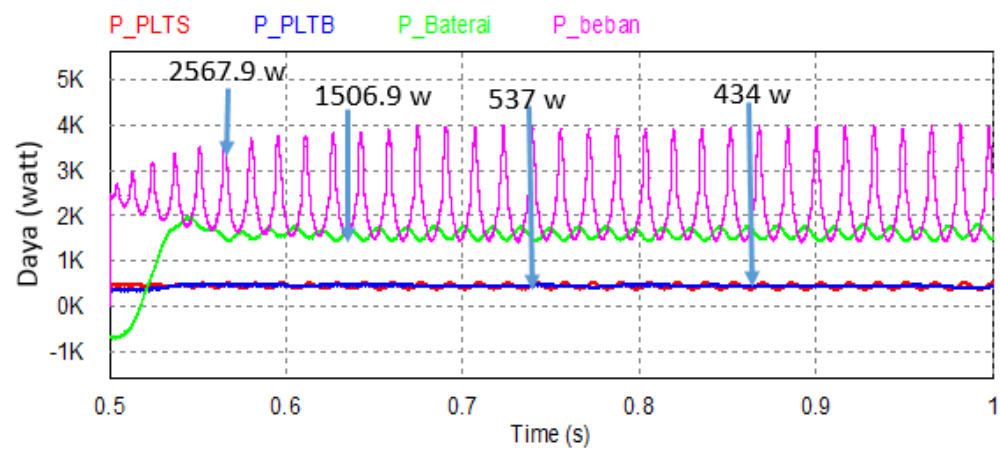
Pada sistem hibrid P\_PLTS dan P\_PLTB dioperasikan pada kondisi daya maksimum yang mampu dihasilkan oleh panel surya dan wind turbin agar didapatkan daya yang efisiensi. Daya keluaran panel surya dan wind turbin dikontrol dengan sistem kontrol MPPT dengan masukan berupa daya dan tegangan keluaran panel surya dan wind turbin, sehingga daya P\_PLTS dan P\_PLTB terkontrol.

Dari gambar 4.6 dapat diketahui bahwa ketika sistem mendapat daya masuk berubah dari PLTS dan PLTB. Maka beban lebih kecil atau nol (0) dari daya pembangkit hibrid ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ), kelebihan daya sistem akan digunakan untuk mengisi baterai (*charging*), berarti daya baterai negatif (-). Pada waktu 0-0.5 dt daya yang dihasilkan : PLTS, PLTB adalah 562.9 watt, 78.97 watt dan daya baterai -579.6 watt ini kondisi beban 0 (nol). Ketika beban lebih besar dari pembangkit ( $P_{PV} + P_{WT} < P_{Load}$ ), daya sistem hibrid disuplai oleh pembangkit PLTS dan PLTB tidak mencukupi maka daya baterai positif (+). Pada waktu 0.5-1 dt daya pembangkit PLTS, PLTB adalah : 537 watt, 434 watt dan daya baterai 1506.9 watt. Sedangkan daya beban adalah : 2567.9 watt. Daya baterai positif (+) baterai discharging karena daya beban lebih besar dari pembangkit.

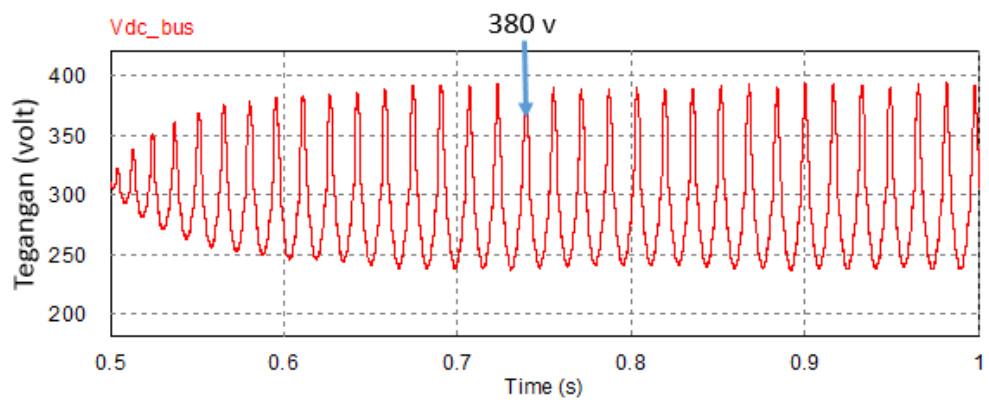
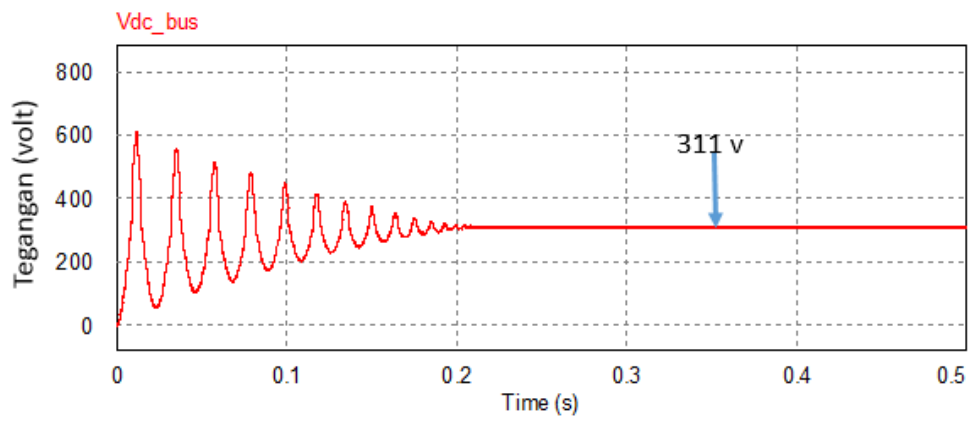
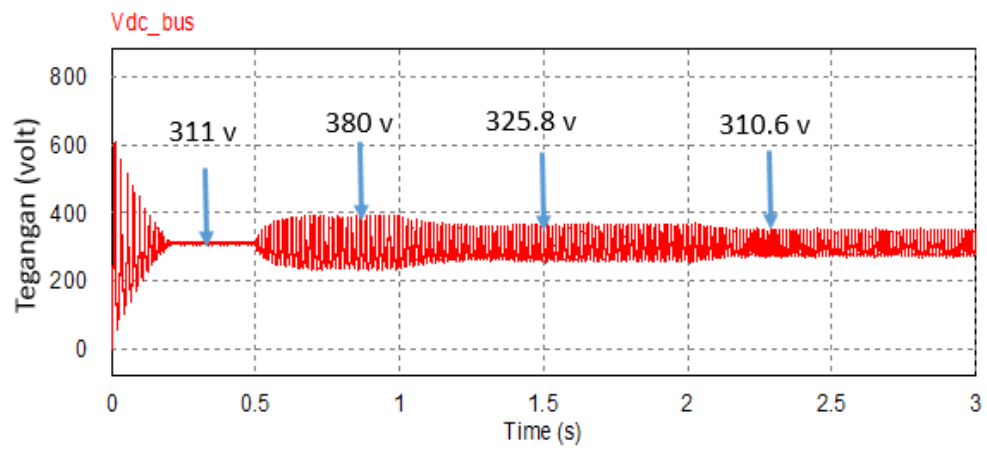
Pada waktu 1-2 dt daya yang dihasilkan pembangkit hibrid PLTS, PLTB adalah : 999.9 watt, 441.9 watt dan daya baterai 1452.5 watt sedangkan daya beban 2503 watt maka daya baterai tetap positif (+) berarti discharging. Pada waktu 2-3 dt daya yang dihasilkan pembangkit hibrid PLTS, PLTB adalah : 2528.5 watt, 777.16 watt dan daya baterai 1344 watt sedangkan daya beban 3478.8 watt maka daya baterai tetap positif (+) berarti discharging. Beban lebih besar dari daya pembangkitan ( $P_{PV} + P_{WT} < P_{Load}$ ), maka sistem mengalami kekurangan daya maka dibantu dengan daya baterai positif (+) ini menunjukkan baterai dalam kondisi *discharging*. Respon aliran daya P\_PLTS dan P\_PLTB tetap ditunjukkan pada gambar 4.6 .

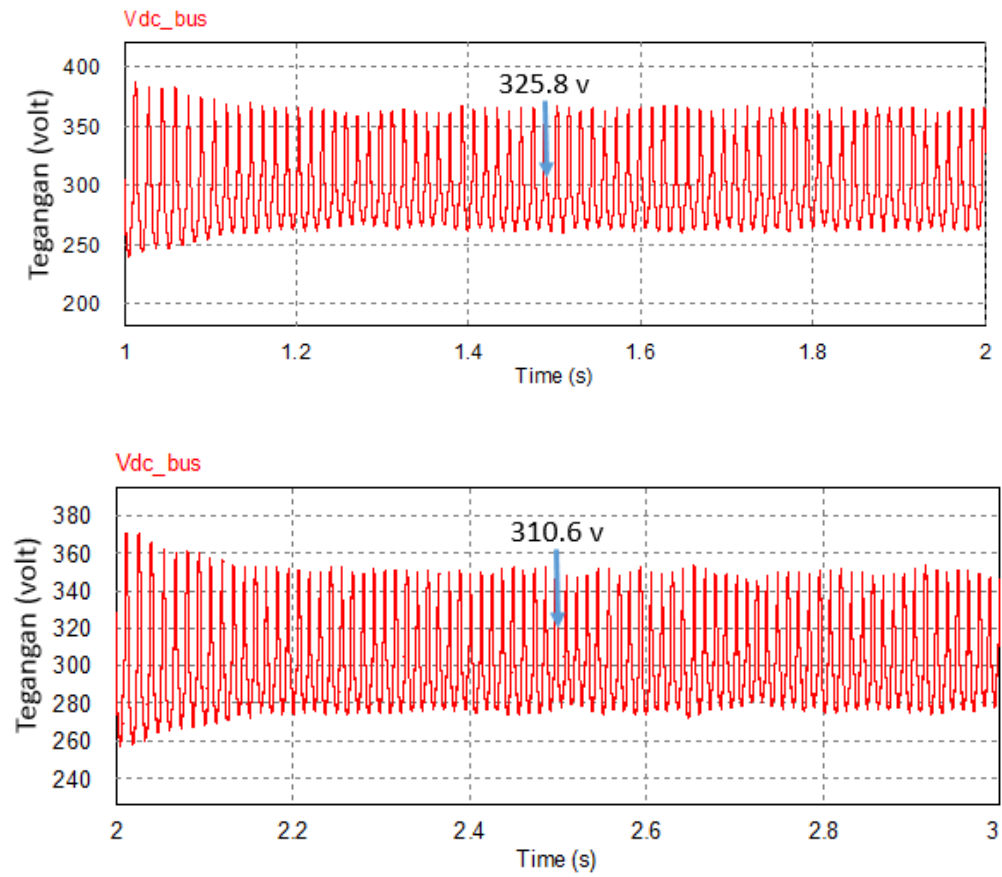
Respon tegangan  $V_{dc\_bus}$  , pada kecepatan angin 5 m/s, irradiansi matahari  $500 \text{ w/m}^2$  dan beban berubah. Dari gambar 4.6 diketahui bahwa ketika beban 0 (nol) tegangan  $V_{dc\_bus}$  311 volt. Setelah beban berubah dari waktu 0.5-1 dt tegangan  $V_{dc\_bus}$  380 volt. Dan waktu 1-2 dt tegangan  $V_{dc\_bus}$  325.8 volt, lalu waktu 2-3 dt tegangan  $V_{dc\_bus}$  kembali 311 volt ini terjadi perubahan beban. Tegangan bus DC dapat dipertahankan sesuai regulasi dengan ripple tegangan pada kondisi daya charging/discharging.









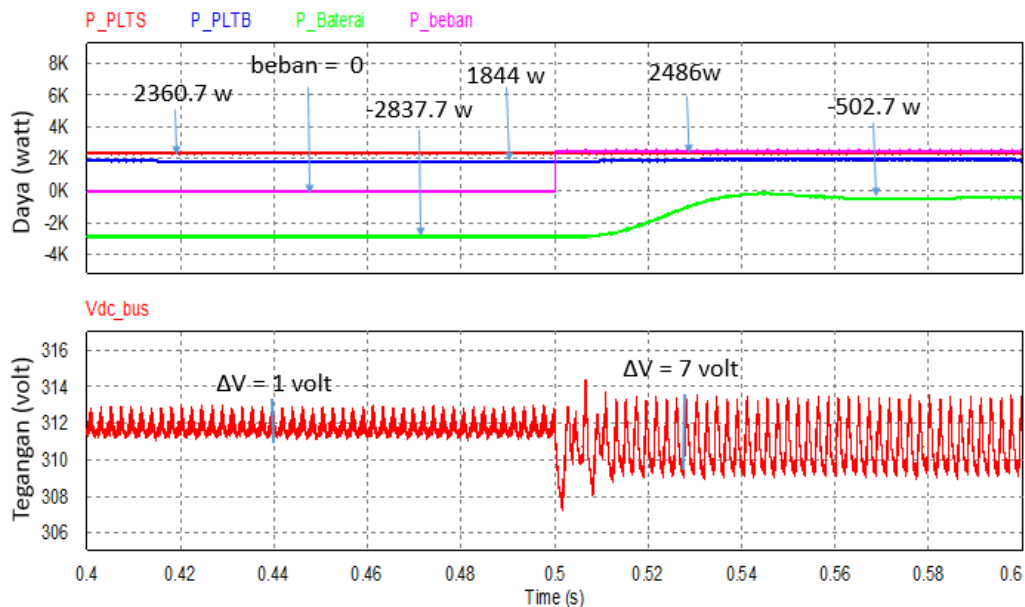


Gambar 4.6 Respon aliran P dan V a) PLTS, PLTB pada beban tetap

### 4.2.3 Perubahan beban

Dari gambar 4.7 dapat diketahui bahwa ketika waktu 0.4-0.5 dt beban masih 0 (nol) maka daya yang dihasilkan PLTS adalah 2360.7 watt dan PLTB adalah 1844 watt, daya baterai -2837.7 watt, berarti daya baterai negatif (-) ini menunjukkan baterai dalam kondisi *charging*. Tegangan  $V_{dc\_bus}$  312 volt, perubahan tegangan ( $\Delta V$ ) sebesar = 1 volt. Perubahan ini terjadi pada waktu 0.4-0.5 dt. Persentasi perubahan delta tegangan sebesar 0.45%.

Kemudian dari waktu 0.5-0.6 dt kondisi daya beban sebesar 2486 watt, daya yang dihasilkan oleh PLTS adalah 2360.7 watt dan PLTB adalah 1844 watt, daya baterai adalah -502.7 watt, berarti daya baterai negatif (-) ini menunjukkan baterai dalam kondisi *charging*. Dimana daya yang dihasilkan dari kedua pembangkit lebih besar dari daya beban. Daya dari PLTS dan PLTB masih surplus daya 1718.7 watt, kelebihan daya tersebut untuk mengisi baterai (charging). Tegangan  $V_{dc\_bus}$  314 volt, perubahan tegangan ( $\Delta V$ ) sebesar = 7 volt perubahan ini terjadi pada waktu 0.5-0.6 dt. Persentasi perubahan delta tegangan ( $\Delta V$ ) sebesar 3.18%.



Gambar 4.7 Respon Aliran P dan V pada Perubahan Beban

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan hasil simulasi pada pembangkit hibrid tenaga angin dan matahari menggunakan algoritma PSO yang dilengkapi controller pada masing-masing pembangkit diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Berdasarkan simulasi yang dilakukan menggunakan algoritma PSO untuk memenuhi kebutuhan daya beban sebesar 3500 watt selalu tersedia dengan Last SOC Value sebesar 31% maka dibutuhkan solar modul PV sebanyak 16 unit dengan kapasitas masing-masing modul sebesar 250 Wp. Selain itu dibutuhkan tubin angin sebanyak 5 unit dengan kapasitas masing-masing turbin sebesar 0.5 kW, demikian juga dibutuhkan sebanyak 22 unit baterai 48 volt dengan kapasitas 100 Ah.
2. Untuk memenuhi kebutuhan peralatan dan ketersediaan daya yang stabil tersebut berdasarkan simulasi menggunakan algoritma PSO tersebut dibutuhkan biaya termurah (paling minimum) adalah sebesar \$. 67857.
3. Pada simulasi menggunakan PSIM dengan kontrol PI untuk kondisi  $P_{PLTS}$  &  $P_{PLTB}$  (tetap),  $P_{Beban}$  (berubah) terlihat bahwa ketika waktu 0-0.5 dt beban masih 0 (nol), daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB mengisi baterai, karena saat itu kondisi beban 0 (nol) maka daya baterai negatif (-) ini menunjukkan baterai dalam kondisi *charging*. Kemudian pada waktu 0.5-2 dt kondisi mulai berbeban maka daya dari pembangkit ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ) daya digunakan untuk charging baterai. Pada kondisi itu tegangan Vdc bus 310 volt. Lalu dari waktu 2-3 dt beban mengalami peningkatan berkisar 3386 watt sedangkan daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB berkisar 4320.5 watt. Maka sistem akan disuplai dari pembangkit sesuai dengan kebutuhan beban, kalau daya yang dihasilkan pembangkit

hibrid melebihi kapasitas beban maka digunakan mengisi baterai *charging* tetapi baterai sudah penuh maka akan dibuang melalui ballast load.

4. Pada simulasi menggunakan PSIM dengan kontrol PI untuk kondisi  $P_{PLTS}$  &  $P_{PLTB}$  (berubah),  $P_{Beban}$  (tetap) terlihat bahwa ketika waktu 0-0.5 dt beban masih 0 (nol), daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB mengisi baterai, dan daya baterai negatif (-) ini menunjukkan baterai dalam kondisi *charging*. Kemudian pada waktu 0.5-3 dt kondisi mulai berbeban maka daya dari pembangkit hibrid ( $P_{PV} + P_{WT} < P_{Load}$ ) maka daya dari baterai positif (+) ini menunjukkan baterai pada kondisi *discharging*. Pada kondisi itu tegangan  $V_{dc}$  bus 310 volt. Maka sistem akan disuplai dari pembangkit sesuai dengan kebutuhan beban, kalau daya yang dihasilkan pembangkit hibrid melebihi kapasitas beban maka digunakan mengisi baterai *charging* dan apabila baterai mengeluarkan daya maka *discharging*. Tetapi baterai sudah penuh dan daya yang dihasilkan dari pembangkit tetap ( $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ ) maka akan dibuang melalui ballast load.
5. Pada uji simulasi lain yang dilakukan antara lain untuk kondisi  $P_{PLTS}$  &  $P_{PLTB}$  (berubah),  $P_{Beban}$  (tetap), serta pada kondisi beban berubah memperlihatkan model desain sistem pembangkit hibrid PV dan angin pada penelitian ini dapat bekerja dengan baik untuk menjaga kontinuitas daya ke beban.

## 5.2 Saran

Berdasarkan permasalahan, tujuan serta pelaksanaan penelitian ini maka penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Diperlukan pengujian lebih kompleks untuk menentukan mekanisme controller yang digunakan pada masing-masing pembangkit dan controller *charging* dan *discharging* serta sensor-sensor yang digunakan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Chaitanya Marisarla, K. Ravi Kumar, “*A Hybrid Wind and Solar Energy System with Battery Energy Storage for An Isolated System,*” IJEIT 2013, Vol 3, Issue. 3, September 2013.
- [2]. Roni Wiryadinata, Ali Imron, Ri Munarto . “*Studi Pemanfaatan Energi Matahari di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif*” SETRUM, Vol. 2, No.1 Juni 2013, ISSN :2301-4652.
- [3]. Rosnita Rauf, “*Konsep Integrasi Pembangkit Berbasis Energi Terbarukan Sebagai Sistem Mikrogrid di Kabupaten Pesisir Selatan*” Thesis, Teknik Elektro - Universitas Andalas vol. 2 No. 2 September 2013,ISSN : 3202-2949.
- [4]. Antonius Rajagukguk, Mohmad Ashari & Riawan, Dedet Candra Riawan, 2014. “Maximum Power Point Tracking Control for Stand-Alone Photovoltaic System using Fuzzy Sliding Mode Control”. In *Proceeding of the 1st International Conference on Information Technology, Computer and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014*.
- [5]. Nur Sabbaha,. Erwin Susanto, Ekki Kurniawan. “*Perancangan dan Implementasi Konverter Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Hybid Surya dan Angin Untuk Suplai Listrik Arus Bolak - Balik,*” Tesis, Teknik Elektro - Universitas Telkom, 2013.
- [6]. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E.R.F., 2009. “*Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays*”. Revista Eletrônica de Potência, Brazilian Journal of Power Electronics.
- [7]. J. Abdul Jaleel, Nazar. A, O.A.R., 2012. “*Simulation on Maximum Power Point Tracking of the Photovoltaic Module using LabVIEW*”. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering.

- [8]. A.Durgadevi & Arulselvi, S., 2012. ANFIS Modeling, "*Partial Shading and MPPT Controlled Hardware Analysis of Standing Alone Photovoltaic Water Pumping System*". International Journal of Computer Science Issues (IJSCI).
- [9]. Jabr, R.A. & Pal, B.C., 2009. "*Intermittent wind generation in optimal power flow dispatching*". IET Generation, Transmission & Distribution.
- [10]. Panda, A. & Tripathy, M., 2014. "*Optimal power flow solution of wind integrated power system using modified bacteria foraging algorithm*". *Electrical Power and Energy Systems*.
- [11]. Miguel, A., Vazquez, O. & Kirschen, D., 2010. "*Assessing the impacts of wind power generation on operating cost*". IEEE Trans Smart Grid.
- [12]. Mohod, S.W. & Aware, M. V., 2012. "*Micro Wind Power Generator With Battery Energy Storage For Critical Load*". IEEE Systems Journal.
- [13]. Matthew Clayton Such & Hill, C., 2012. "*Battery Energy Storage and Wind Energy Integrated into the Smart Grid*". In *IEEE Conference*.
- [14]. Antonius Rajagukguk, Mohmad Ashari & Riawan, Dedet Candra Riawan 2015. "*Optimization of photovoltaic farm under partial shading effects using artificial intelligent based matrix switch controller*". In The 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE), 2015.
- [15]. Joanne, H., Alireza, B. & Praveen, K.J., 2010. "*A hybrid wind-solar energy system*": A new rectifier stage topology. In Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2010 Twenty-Fifth Annual IEEE.
- [16]. Nabil A. Ahmed & Miyatake, M., 2006. "*A Stand-Alone Hybrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control*". In Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. IPERC 2006. CES/IEEE 5th International.
- [17]. Kim, S.-K., Kim, E.-S. & Ahn, J.-B., 2005. "*Modeling and Control of a*



*Grid-connected Wind/PV Hybrid Generation System*". In Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2005/2006 IEEE PES.

- [18]. Xu, D. et al., 2005. "*Optimal sizing of standalone hybrid wind/PV power systems using genetic algorithms*". In Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2005.
- [19]. Patel, H. & Agarwal, V., 2008. "*MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics*". IEEE Trans. Energy conversion.
- [20]. Mohammad Amereh, Zahra Shiravi Khozani and Ahad Kazemi, "*Multi Objective Design of Stand-alone PV/Wind Energy System by Using Hybrid GA and PSO*", The 22nd Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE 2014), May 20-22, 2014, Shahid Beheshti University 978-1-4799-4409-5/14/\$31.00 ©2014 IEEE.
- [21]. Maickel Tuegeh, Soeprijanto, Mauridhi H Purnomo, "*Modified Improved Particle Swarm Optimization For Optimal Generator Scheduling*", *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2009 (SNATI 2009)*, ISSN: 1907-5022.
- [22]. Ana Lisbeth Galindo Noguera, Luis Sebastian Mendoza Castellanos, Electro Eduardo Silva Lora, Vladimir Rafael Melian Cobas, "*Optimum design of a hybrid diesel-ORC / photovoltaic system using PSO: Case study for the city of Cujubim, Brazil*", *Energy* 142, 2018, pp.33–45.
- [23]. Azadeh Kamjoo , Alireza Maheri and Ghanim A. Putrus, "*Reliability Criteria in Optimal Sizing of Stand-alone Hybrid Wind-PV-Battery bank System*", 2012 2nd International Symposium on Environment-Friendly Energies and Applications (EFEA), Northumbria University, 978-1-4673-2911-8/12/\$31.00 ©2012 IEEE.
- [24]. Gunes GURSOY, Mustafa BAYSAL "*Improved Optimal Sizing of Hybrid PV/Wind/Battery Energy Systems*", 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications ICRERA 2014, Milwaukee, USA 19-22 Oct 2014, 978-1-4799-3795-0/14/\$31.00©2012 IEEE.

- [25]. Meng Liu, Wei-Jen Lee, Lyndon K. Lee, “*Wind and PV Hybrid Renewable System Dispatch using Battery Energy Storage*”, The University of Texas at Arlington, IEEE, 978-1-4799-1255-1/13/\$31.00 ©2013.
- [26]. Darjat, Mohamad Syahadi, Iwan Setiawan “*Aplikasi Kontrol Proporsional Integral Berbasis Mikrokontroler Atmega8535 Untuk Pengaturan Suhu Pada Alat Pengering Kertas* “,Proceeding, Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2008), ISSN : 1411-6286.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Alfredo Gusmao  
NRP : 07111550018001  
Fakultas/Departemen : FTE/Teknik Elektro  
Tempat Tgl. Lahir : Sirimana/Atelari/Laga, 15-4-1975  
Jenis : Laki-laki  
Agama : Katolik Roma  
Alamat Asal : Timor Leste  
Alamat Surabaya : Jl.Rodah Sekolahan No.22 Sukolilo  
Email : aldogusmao04@gmail.com  
: gusmao\_aldo@yahoo.com

### RIWAYAT PENDIDIKAN :

1. Lulus SD Katolik Laga Timor Leste pada tahun 1990.
2. Lulus SMP Negeri Laga Timor Leste pada tahun 1993.
3. Lulus STM Katolik Fatumaka Timor Leste pada tahun 1996.
4. Universitas Nasional Timor Leste (UNTL) pada tahun 2002.
5. Transfer ke Universitas Widyagama Malang Fakultas Teknik Elektro Jurusan Energi Listrik pada tahun 2005.
6. Lulus Universitas Widyagama Malang Fakultas Teknik Elektro Jurusan Energi Listrik pada tahun 2008.
7. Terdaftar sebagai Mahasiswa S2 Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya Fakultas Teknologi Elektro Departemen Teknik Elektro pada tahun 2016.

### RIWAYAT PEKERJAAN :

1. Sebagai guru SMK Negeri Dili, Timor Leste pada tahun 2010-2016.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **LAMPIRAN**

## NOMENKLATUR

$R_s$	tahanan seri
$R_p$	tahanan paralel
$R_{sh}$	tahanan shunt
$AI$	<i>artificial intelligent</i>
$R$	tahanan
$T$	suhu sel
$I$	arus
$I_{sc}$	arus shunt
$I_o$	arus saturasi <i>reverse</i> dioda
$N_p$	jumlah sel surya paralel
$N_s$	jumlah sel surya seri
$V$	kecepatan angin
$A$	luas permukaan
$K$	konstanta Boltzaman
$V_d$	tegangan dioda
$q$	muatan elektron
$P_{wt}$	daya angin
$\rho$	kerapatan udara
$v$	kecepatan angin
$P_m$	daya mekanik
$\eta$	efisiensi
$C_p$	konstanta daya pada turbin angin
$\lambda$	lamda
$\omega_w$	kecepatan angular turbin
$P_{PV}$	<i>Power Photovoltaic</i>
$P_{WT}$	<i>Power Wind turbine</i>

$P_{Load}$	<i>Power load</i>
$K_P$	konstanta proporsional
$T_i$	<i>waktu integral</i>
$K_i$	<i>konstanta</i>
$\Delta V$	<i>perubahan tegangan</i>
$W_P$	<i>watt peak</i>
$V$	<i>volt</i>
$V_{dc}$	<i>tegangan dc</i>
$R$	jari-jari turbin angin
$P$	daya
$P_{Charge}$	<i>daya charge battery</i>
$P_{discharge}$	<i>daya discharge battery</i>
$G_c$	<i>gain controller</i>
$U(S)$	keluaran
$E(S)$	error
$I_{Bat}$	<i>Arus baterai</i>
$P_{ballast}$	<i>Power ballast</i>
$N_{PV}$	<i>Jumlah photovoltaic</i>
$N_{WT}$	<i>Jumlah wind turbin</i>
$N_{Bat}$	<i>Jumlah battery</i>
$G$	<i>Generator</i>
$C_{Bat}$	kapasitas baterai
$SOC$	<i>State of charge</i>
$DOD$	<i>Deef of discharge</i>
$PSO$	<i>Particle swarm optimization</i>
$G_{best}$	<i>Global best</i>
$P_{best}$	<i>Personal best</i>
$PI$	<i>Proportional Integral</i>

AC	<i>Alternating Current</i>
DC	<i>Direct Current</i>
AH	<i>Ampere Hour</i>
<i>Puskesmas</i>	Pusat kesehatan masyarakat
Hz	<i>Hertz</i>
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
PLN	Perusahaan Listrik Negara
PV	<i>Photovoltaic</i>
kW	kilo watt
TSR	<i>Tip Speed Ration</i>
UPS	<i>Uninterruptible Power Supply</i>
<i>PLTS</i>	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Surya</i>
<i>PLTB</i>	<i>Pembangkit Listrik Tenaga Bayu</i>
WTGS	<i>Wind Turbine Generation System</i>



## DAFTAR INDEX

### A

AH, 4, 22, 26, 31, 53  
*artificial intelligent*, 3, 4, 46

### B

bahan bakar, 1  
 ballast load, *vii*, ix, 16, 32, 44  
 baterai, *vii*, 2, 3, 4, 6, 12, 16, 17, 22,  
 23, 26, 28, 29, 31, 32, 36, 41, 43,  
 44, 52

Bezt limit, 10

### C

cell PV, 30  
 charge, 12, 52  
*Current characteristic curve*, 1

### D

Diagram Blok pengendalian PI, 14  
 discharging, *vii*, ix, 12, 33, 36, 37,  
 44, 45  
 DOD<sub>max</sub>, 12

### E

energi kinetik, 9  
 evaluasi, 21, 23

### F

fitness, 11, 23

### G

generator konvensional, 6  
*Global best*, 11, 53  
 globalisasi, 1

### H

hybrid, *vii*, ix, 2, 3, 46, 47

### I

individu, 11, 20, 21, 23  
*Inertia*, 11  
 inverter, 29

### J

jari-jari turbin angin, 9

### K

kecepatan angular turbin, 10, 52  
 koefisien daya, 10  
 kompleks, 45  
 konstanta integral, 13

### L

*loss of load*, 16

### M

*Maximum Power Point Tracking*, 1  
 modul panel, 1, 2

### O

*objective function*, 16  
 Optimal sizing, 5, 47  
 Output proportional, 13

### P

panel surya, 1, 2, 4, 30, 32, 36  
*particle*, 3, 11  
*Particle Swarm Optimization*, 10, 11,  
 20  
*Personal best*, 11  
 perubahan intensitas, 6

*photovoltaic cells*, 7  
*PI controller*, 2  
 PLTB, *xiv*, *xv*, 28, 30, 31, 32, 35, 36, 40, 41, 43, 44, 53  
 PLTS,, *xv*, 28, 32, 35, 36, 40  
 population, 21  
 positif, 32, 36, 44  
 potensi energi, 16, 17, 23  
 $P_{PV} + P_{WT} > P_{Load}$ , 32, 36, 43, 44  
 PSIM, *vii*, *ix*, 43, 44  
 puskesmas, 17  
 PV array, 6, 30  
 PV Array, 29, 47  

R

*renewable energy*, 1  

S

*Simulink Toolbox*, 4  
 sistem pembangkit hibrid, *vii*, 2, 3, 4, 17, 28, 44  
 SOC, *vii*, *ix*, 12, 16, 17, 22, 43  
*solar panel module*, 1, 2, 3, 4  

T

 tegangan  $V_{dc\_bus}$ , 33, 37  
*Tip Speed Ratio*, 10  

V

 Velocity, 11  
*voltage converter*, 1  

W

 waktu kontinyu, 13  
 watt, 2, 3, 4, 30, 32, 36, 41, 43, 53  
*wind turbin*, 2, 4, 32, 36  
 WTGS, *vii*, *ix*, *xv*, 16, 17, 21, 22, 26, 29, 53  
 $\Delta V$ , 41